

ADEILDO ANTÃO DOS SANTOS

REALIZAÇÃO E ANÁLISE DE REDE GPS PARA O ESTADO DE PERNAMBUCO

Dissertação apresentada como requisito
parcial à obtenção do grau de Mestre.
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geo-
désicas, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Milton de Azevedo Campos

RECIFE
1996

REALIZAÇÃO E ANÁLISE DE UMA REDE GPS PARA O ESTADO DE PERNAMBUCO

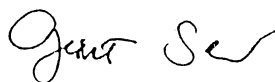
POR

ADEILDO ANTÃO DOS SANTOS

Dissertação aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:



Prof. Dr. MILTON DE AZEVEDO CAMPOS - Orientador



Prof. Dr. GÜNTER SEEGER - Membro



Prof^a. Dr^a. VERÔNICA MARIA COSTA ROMÃO - Membro

a Daniel Antão, in memoriam,
Maria José,
Flávio,
Daniela,
Michael e
Priscila

AGRADECIMENTOS

O autor externa seus agradecimentos às seguintes pessoas e instituições:

- À CELPE (Companhia Energética do Estado de Pernambuco) pelo apoio financeiro para a realização do trabalho;

- Ao Prof. Dr. Milton de Azevedo Campos, da UFPR, pelo apoio e orientação indispensáveis ao desenvolvimento desta dissertação;

- Ao Prof. Dr. Günter Seeber, da IFE de Hannover, pelas primeiras orientações e discussões que motivaram o desenvolvimento deste trabalho e pela presteza sempre demonstrada em todo o tempo que solicitado;

- Ao Engenheiros: Alex Soria, João Cândido, Jorge Dirceu, Marconi Antão e o tecnólogo Flávio Antão, pela dedicação no trabalho de campo não medindo esforço pela sua concretização;

- Ao Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE pela cessão dos equipamentos, laboratórios e instalações, sem os quais seria impossível o desenvolvimento deste trabalho;

- À Ademilda Rodrigues Sales pelo carinho, compreensão e abnegação nos momentos difíceis sempre com palavras de incentivos;

- À Profa. Verônica Romão pela ajuda indispensável ao desenvolvimento da tese;

- Ao Sr. Hilton Coutinho, funcionário da CELPE pelo apoio e presteza nos momentos difíceis.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	I
LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE QUADROS	IV
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
1. OBJETIVO DO TRABALHO	1
2. O SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL	4
2.1 INTRODUÇÃO	4
2.2 O SEGMENTO ESPACIAL	4
2.3 O SEGMENTO TERRESTRE	5
2.4 O SEGMENTO DO USUÁRIO	7
2.5 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA NAVSTAR-GPS	9
2.5.1 Receptores Dependente do Código	9
2.5.2 Receptores Indpende do Código	10
2.6 OBSERVAÇÕES GPS E EQUAÇÕES DE OBSERVAÇÕES	11
2.7 COMBINAÇÕES LINEARES	14
2.7.1 Método Clássico	15
2.7.1.1 Simples Diferença de Fase	15
2.7.1.2 Dupla Diferença de Fase	17
2.7.1.3 Tripla Diferença de Fase	18
2.7.2 Combinações Lineares entre Observáveis	18
2.8 CONCEITO DE AJUSTAMENTO	20
2.9 SOLUÇÃO DAS AMBIGÜIDADES	22
3. PLANEJAMENTO DA REDE FUNDAMENTAL GPS DE PERNAMBUCO	25
3.1 A REDE DE TRIANGULAÇÃO GEODÉSICA EM PERNAMBUCO	25
3.2 PLANEJAMENTO DA REDE FUNDAMENTAL GPS	28
3.2.1 Escolha dos Locais dos Vértices	28

3.2.2 Reconhecimento e Monumentação	28
3.2.3 Operação de Campo	31
3.2.4 Grande Rede	33
4. PROCESSAMENTO DA REDE	35
4.1 INTRODUÇÃO	35
4.2 CÁLCULO DAS LINHAS DE BASE	35
4.2.1 Processamento com o Programa Comercial da Trimble	35
4.2.2 Processamento com o Programa Científico - Geonap -	40
4.2.3 Estudo Comparativo entre as Soluções do dois Programas	43
4.3 AJUSTAMENTO DA REDE	44
4.3.1 Programa Comercial - Trimnet -	44
4.3.2 Processamento como o Programa Científico - Gnpnet	48
4.3.3 Comparação entre o Ajustamento da Grande Rede com o programa Trimnet e o Geonap	51
4.3.4 Comparação entre o Ajustamento da Rede Fundamental com o programa Trimnet o Geonap	54
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	57
ANEXOS	60
Cálculo das Linhas de Base através do Geonap	61
Cálculo das Linhas de Base utilizando o Trimvec	63
Rede Fundamental Ajustada pelo Programa Trimnet	65
Rede Fundamental Ajustada pelo Programa Geonap	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS	69

LISTA DE FIGURAS

1. MEDIDA DA FASE PORTADORA	14
2. COMBINAÇÕES ENTRE 02 RECEPTORES E 02 SATÉLITES	15
3. REDE DE TRIANGULAÇÃO NO ESTADO DE PE.	26
4. ESTADO DE PERNAMBUCO E VIAS PRINCIPAIS	27
4. VISUALIZAÇÃO DO ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO DO MARCO	29
5. FOTOGRAFIA DOS MARCOS	30
6. FOTOGRAFIA DE UM MARCO IMPLANTADO - ESTAÇÃO SERTÂNIA	30
7. REDE DE ESTAÇÕES GPS NO ESTADO	32
8. GRÁFICO DA SITUAÇÃO DOS SATÉLITE PARA 5-2-92	33
9. GRANDE REDE DO ESTADO	34
10. ORGANOGRAMA DO SISTEMA GEONAP	42
11. GRANDE REDE DO ESTADO COM TODAS AS DIAGONAIS	46
12. ELIPSE DE ERRO RELATIVA NO AJUSTE DA REDE GRANDE COM TODAS AS DIAGONAIS	49
13. ELIPSE DE ERRO RELATIVA NO AJUSTE DA REDE GRANDE SEM AS DIAGONAIS	50
14. PLOT DAS DIFERENÇAS ENTRE AS COORDENADAS AJUSTADAS DA GRANDE REDE COM O GEONAP E O TRIMNET	52
15. ELIPSE DE ERRO RELATIVO PARA A REDE FUNDAMENTAL DO ESTADO DE PERNAMBUCO COM O PROGRAMA GEONAP	53
16. VETORES-DIFERENÇA ENTRE AS COORDENADAS AJUSTADAS DA GRANDE REDE E A REDE FUNDAMENTAL COM O GEONAP	54
17 DESVIO- PADRÃO DAS DIFERENÇAS ENTRE AS COORDENADAS AJUSTADAS DA REDE FUNDAMENTAL COM O GEONAP E O TRIMNET	55

LISTA DE QUADROS

1. COMBINAÇÕES LINEARES DO SINAL GPS	19
2. COORDENADAS DO VÉRTICE UFPE FORNECIDAS PELO IBGE	35
3. RELAÇÃO ENTRE A DISTÂNCIA E PRECISÃO	36
4. EXEMPLO DO CÁLCULO DE DOIS VÉRTICES COM TODAS AS SOLUÇÕES USANDO O TRIMVEC	38
5. CÁLCULO DO ERRO DE FECHAMENTO DE UM QUADRILÁTERO (ECD-JUR-UFPE-VSA) UTILIZANDO O PROGRAMA TCLOSE	39
6. EXEMPLO COM A SOLUÇÃO .FLT	40
7. EXEMPLO DO CÁLCULO DE DUAS LINHAS DE BASE USANDO O GEONAP	41
8. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS ENTRE O TRIMVEC E O GEONAP	43
9. COORDENADAS AJUSTADAS COM O TRIMNET - GRANDE REDE-	47
10. MÉDIA DO DESVIO PADRÃO DA REDE FUNDAMENTAL AJUSTADA COM OS VÉRTICE DA GRANDE REDE COMO REFERÊNCIA.	47
11. MÉDIA DO DESVIO PADRÃO DA REDE FUNDAMENTAL AJUSTADA COM O VÉRTICE UFPE COMO REFERÊNCIA	48
12. COORDENADAS AJUSTADAS COM O GNPNET	48
13. PRECISÃO RELATIVA DA GRANDE REDE SEM AS DIAGONAIS	49
14. DIFERENÇA ENTRE AS COORDENADAS DA GRANDE REDE AJUSTADAS COM O TRIMNET E O GNPNET	51
15. MÉDIA DO DESVIO PADRÃO DA REDE FUNDAMENTAL AJUSTADA COM OS VÉRTICE DA GRANDE REDE COMO REFERÊNCIA.	51

RESUMO

Nesta dissertação são discutidos e aplicados os programas comerciais do fabricante Trimble, os recursos e procedimentos mais necessários para os cálculos de linhas de base e ajustamento de coordenadas em duas redes; uma [e a Rede Fundamental GPS que cobre todo o Estado de Pernambuco; e a outra é a Grande Rede, formada por 7 pontos da Rede Fundamental. O desenvolvimento dos assuntos obedece a dois aspectos principais: o primeiro é a preocupação com a precisão e exatidão possíveis de serem atingidas nas coordenadas; o segundo é a comparação entre os resultados obtidos com um programa comercial e de um programa científico Geonap.

ABSTRACT

In this dissertation are discussed and applied the Trimble's comercials softwares, the recourses and procedures indispensables to the base lines computation and coordinates adjustment in two nets; one of this is the fundamental network GPS that cover all the Pernambuco State and the other is the Great Network, formed by 7 points that belongs to the Fundamental Network. The themes's explanation yield 2 principal aspects: the firts deal about the coordinates precision and accuracy; the second is the comparison between the results obtained by a comercial software and by a Geonap scientific software.

1. OBJETIVO DO TRABALHO

A CELPE (Companhia Energética do Estado de Pernambuco) procurando adapta-se as atuais tendência da Cartografia no que se refere ao Cadastro Digital e ao Sistemas de Informações Geográficas (SIG) montou uma estratégia para efetuar a atualização e a digitalização dos seus mapas cadastrais em todo o estado de Pernambuco. Com este objetivo, procurou a Universidade Federal de Pernambuco, através do Departamento de Engenharia Cartográfica viabilizar suas metas. Após diversas reuniões verificou-se que, como passo fundamental, deveria ter uma base cartográfica única para o Estado onde os seus mapas estariam num mesmo sistema de referência.

A idéia inicial cogitada, seria a utilização dos vértices da Rede de Triangulação Brasileira como base cartográfica para a densificação dos vértices para as cidades e posteriormente a transformação e digitalização dos mapas existentes em diversos sistemas para um sistema único de referência. Constatou-se, contudo, que os vértices de Rede de Triangulação Brasileira apresentavam algumas dificuldades, entre elas: a distância entre o vértice de triangulação e a região onde se pretendia trabalhar; o grande número de vértices destruídos; e o difícil acesso a estes vértices, por si só, inviabilizariam o projeto.

O Sistema de Posicionamento Global (GPS) surgia no meio cartográfico como um sistema de determinação de coordenadas tridimensionais de alta precisão aliado a grande rapidez e baixo custo. O Laboratório de Geodésia do Departamento de Engenharia Cartográfica havia adquirido 02 receptores de sinais GPS através do convênio entre os governos Alemão (GTZ) e Brasileiro e, no momento, estava participando do projeto BRASION'91 em parceria com a Universidade Federal do Paraná e o IBGE (Campo et al. 1993; Wanninger, 1993). E, neste projeto, o Estado de Pernambuco ficaria ligado a Rede

Nacional GPS (Pereira, 1993) através da estação UFPE-Recife como uma estação de referência de alta precisão.

Com uma estação de referência de alta precisão ligada a Rede Nacional surgiu a idéia arrojada, para a época, de desenvolver um projeto para a realização de uma rede geodésica para o Estado, utilizando o GPS. Assim foi implantada uma Rede Fundamental cobrindo todo o Estado de Pernambuco; e posteriormente para estabilização desta rede, foram realizadas observações em 7 vértices da rede com duração de tempo de 8 horas e distribuídos ao longo do Estado formando uma Grande Rede envolvendo a Rede Fundamental.

Baseados nos trabalhos executados e tendo em vista o seu pioneirismo no Brasil surgiu o interesse no desenvolvimento desta dissertação, com os objetivos seguintes:

- verificar o uso de programas comerciais para grandes redes, no caso, o TRIMVEC e o TRIMNET, do fabricante TRIMBLE.
- analisar os resultados obtidos, comparando-os com programa (software) científico, GEONAP.
- fornecer subsídios para futuros trabalhos com GPS para grandes redes, desde o planejamento até o resultado final.

Inicialmente, faz-se necessário proceder uma breve introdução ao Sistema de Posicionamento Global (GPS), apresentado no capítulo 2.

No capítulo 3 procura-se mostrar o desenvolvimento do trabalho, inicialmente com uma breve introdução sobre a Rede de Triangulação Brasileira e posteriormente analisa-se o processo de escolha dos vértices tendo em vista as características do Estado e as necessidades da CELPE. Finalmente o reconhecimento, monumentação e as observações de campo são estudadas, bem como os equipamentos utilizados para logo em seguida mostrar o programa de

planejamento - PLAN -. As dificuldades de transporte para a região, números de vértices e suas distribuições, operação de campo, também são analisadas no capítulo 3.

Os cálculos das linhas de base com o uso do software Trimvec, análise crítica, solução para o processamento manual quando existe problema com o processamento automático, tais como: *cycle slip*, satélites com problemas, etc, além de eliminação de satélites para melhor resultado serão avaliados no capítulo 4. Logo após segue um estudo comparativo dos resultados obtidos com os programas. Estudar-se-á, também, os cálculos do ajustamento com o software Trimnet, o critério de precisão e avaliação dos resultados. Ainda, no capítulo 4, as duas redes citadas acima são, também, processadas através do software científico: GEONAP, adquirido pelo Laboratório de Geodésia no convênio anteriormente citado, para posterior comparação com os programas comerciais.

Finalmente, o último capítulo mostra as conclusões, baseadas nos estudos e experimentos realizados, bem como recomendações necessárias a futuros trabalhos.

2. O SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL

2.1 INTRODUÇÃO

O NAVSTAR-GPS (NAVigation System with Time and Ranging - Global Positioning System) é um sistema que permite o posicionamento tridimensional baseado na rádio-frequência transmitida por satélites artificiais dispostos em torno do planeta Terra em órbitas bem definidas, a cerca de 20.000km de altitude (Seeber, 1993).

O NAVSTAR-GPS na época do seu desenvolvimento inicial era tido como um sistema de navegação adequado para atender as necessidades civis e militares de posicionamento em tempo real com precisão de $\pm 10\text{m}$. Após sua implantação e operação, verificou-se que o referido sistema tinha capacidade para prover posições geodésicas muito mais precisas, da ordem de poucos centímetros.

O sistema NAVSTAR-GPS pode, para melhor entendimento, ser dividido em três segmentos:

- segmento espacial;
- segmento de controle ou terrestre;
- segmento do usuário.

2.2 O SEGMENTO ESPACIAL

Na configuração final com sua constelação de 24 satélites, sendo 21 ativos em operação contínua e mais 03 ativos em reserva (stand-by), distribuídos em 06 planos orbitais com 55° de inclinação em relação ao plano do equador e separados em ascensão reta do nodo

ascendente de 60° entre os planos orbitais, tendo cada plano 04 satélites numa altitude de 20.000km, num período orbital de 12 horas siderais (Seeber, 1993).

A vida operacional de cada satélite está estimada em cerca de 7,5 anos e a energia que carrega as baterias a bordo e alimenta os transmissores/receptores é proveniente de dois painéis solares com 7,25m² de área total automaticamente voltada para o sol.

No sistema NAVSTAR-GPS cada satélite tem como função básica (Seeber, 1993):

- receber e armazenar as informações transmitidas pelo segmento de controle terrestre, na frequência de 1.784Mhz;
- processar dados a bordo por meio de seus próprios microprocessadores;
- manter a precisão de tempo através de 04 osciladores de alta confiabilidade (02 de Césio e 02 de Rubídio) conduzido a bordo e
- transmitir informações ao usuário (receptor) por meio das frequências L1 e L2.

Para manutenção da posição orbital e da sua própria estabilidade, cada satélite tem um sistema de propulsão adequado para os fins a que se destina.

2.3 O SEGMENTO TERRESTRE

Também conhecido como segmento de controle, o qual é composto de estações monitoras localizadas em Colorado Springs e Hawaii, além de uma estação mestra de controle localizada em Colorado Springs.

Esse sistema é responsável pelo monitoramento das condições de operacionalidade dos satélites, pela predição das efemérides, pelo comportamento dos relógios dos satélites,

pela determinação do tempo GPS e pela injeção dos dados de navegação na memória dos mesmos satélites, a fim de que eles retransmitam esses dados aos usuários.

As estações monitoras rastreiam os satélites, acumulam séries de dados dos sinais, medem dados meteorológicos e transferem todas essas informações para a Estação Mestra de Controle. Com esses dados a Estação Mestra faz a predição das efemérides dos satélites, do comportamento dos seus relógios de bordo e formula as mensagens de navegação. Essas mensagens, constantemente atualizadas, são enviadas às Antenas Terrestres, que as retransmitem aos satélites.

As Estações Monitoras executam observações simultâneas de pseudo-distâncias a todos os satélites visíveis a cada 06 segundo. Esses dados são corrigidos e uniformizados num intervalo de 15 minutos na Estação Mestra de Controle, a qual fornece duas medidas por estação e por satélites, nesse mesmo intervalo de tempo. Esses dados são filtrados para estimação de:

- 06 parâmetros orbitais;
- 03 parâmetros do relógio;
- 03 parâmetros para pressão da radiação solar para cada satélite;
- 02 parâmetros de tempo por estação monitora;
- 01 fator de escala troposférico por estação monitora.

O tempo do sistema GPS é fornecido pelo oscilador de Césio, ultra-estável, de uma estação monitora terrestre selecionada; para essa estação nenhum parâmetro de tempo é determinado.

2.4 O SEGMENTO DO USUÁRIO

Aos usuários do sistema NAVSTAR-GPS cabe a aquisição de receptores (rastreadores) dos sinais dos satélites, de acordo com suas necessidades básicas, existindo no mercado internacional diversos tipos e modelos, de vários fabricantes, contando, ainda, com software para o processamento dos dados.

Os principais componentes de um receptor são:

- antena com pré-amplificador;
- unidade de alta-frequência para sintonizar os sinais proveniente de diversos satélites, de preferência simultaneamente e com canais independentes;
- unidade capacitadoras para receber os códigos dos satélites, para fins de identificação, obtenção das efemérides, sinais de tempo, catálogo, etc (microprocessadores);
- osciladores interno de alta precisão;
- porta de entrada e saída de dados, tipo RS232;
- fonte de energia própria, por bateria, e/ou externa, via rede domiciliar de 110/220VCA;
- memória residente para armazenamento dos dados de rastreamento.

Um dos critérios de divisão dos receptores GPS (Seeber, 1993) é através dos tipos de dados disponíveis:

- código C/A;
- código C/A + fase da portadora L1;
- código C/A + fase da portadora L1 e L2;
- código C/A + código P + fase da portadora L1 e L2;

- fase da portadora L1;
- fase da portadora L1 e L2.

Para aplicação geodésica o receptor ideal deverá usar a fase da portadora em ambas frequências L1 e L2, além dos dois códigos C/A e P.

Sendo a NAVSTAR-GPS um sistema de navegação militar sob a responsabilidade do Departamento de Defesa (DoD) dos Estados Unidos da América tem, por conseguinte, que estar em concordância com os dispositivos de segurança nacional dos E.U.A. Conforme prescrito no início do sistema, a comunidade civil tanto a nível nacional como internacional, teria acesso restrito à precisão total do sistema.

O serviço disponível à comunidade civil é chamado *Standard Positioning Service* (SPS) e o serviço para usuários autorizados (em primeiro lugar os militares) é chamado de *Precise Positioning Service* (PPS). Sob a coordenação da *Federal Radio Navigation Plan* (FRNP) a precisão disponível para o usuário da SPS é de 100m 2D-RMS. Isto significa que o usuário pode esperar em posicionamento bi-dimensional uma precisão na ordem de 100m ou melhor para um receptor isolado em 65% do tempo de rastreio. O PPS propicia uma precisão de 10 à 20m em três dimensões (3D) (Seeber, 1994).

Para possibilitar estes critérios, dois tipos de restrições foram ativados, no sistema: *Anti-Spoofing* (AS) e o *Selective Availability* (SA). O Anti-Spoofing implica em *encryption* no código P, através de um código protegido chamado código Y. Somente os usuários autorizados deverão ter acesso ao código P quando AS estiver ativada. O *Selective Availability* faz uso de dois efeitos distintos, que são : manipulação dos dados das efémerides (técnica ϵ) e vibração do relógio do satélite (técnica δ), estes efeitos introduzem erros nas observações das pseudo-distâncias.

2.5 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA NAVSTAR- GPS

2.5.1 Receptores Dependentes do Código

A equação fundamental do GPS é a medição da pseudo-distância nos receptores de canal dependente do código. Compara-se a fase portadora do código recebido com uma fase gerada no receptor. O receptor deve conhecer a priori o código, isto é, o código gerado com o mesmo algoritmo utilizado no satélite.

Este processo é um dos dois *loops* de rastreo, chamado *delay lock loop* ou *code tracking loop* (medida de código). A defasagem de tempo necessário para alinhar os códigos (recebido e gerado) corresponde ao intervalo de tempo entre a emissão (satélite) e a recepção (receptor) da propagação do sinal. Este intervalo de tempo é usado para determinar a pseudo-distância, sabendo-se a velocidade de propagação do sinal (Seeber, 1994).

O segundo loop de rastreo é chamado de *phase lock loop* ou *carrier-tracking loop* (medida de fase). Neste caso o código é separado da fase, capacitando, desta forma, a medição de fase e extraída, daí, as mensagens dos satélites. Esta técnica é, também, chamada de *reconstrução de fase*.

Uma correlação dependente do código produz as seguintes observações e informações:

- fase de código;
- fase da portadora;
- variação da fase portadora (frequência Doppler);
- mensagem do satélite.

A técnica de correlação do código e da reconstrução da fase portadora somente trabalha sobre a L2 quando o código P está capacitado ou se o receptor tiver acesso ao código Y.

2.5.2 Receptor Independente do Código

Os canais do receptor independente do código exploram os sinais dos satélites sem o conhecimento dos códigos. A vantagem deste conceito consiste na independência dos sistemas de receptores de possíveis restrições ao acesso ao código. Em contrapartida não se pode extrair as efemérides, o almanaque e o tempo preciso.

A técnica usada, neste caso, é chamada de *técnica da quadratura*. Um canal de quadratura (squaring channel) multiplica o sinal recebido do satélite por si mesmo e gera uma segunda harmônica da portadora original; perdendo-se o código e a mensagem do satélite.

A técnica da quadratura tem duas desvantagens: o comprimento da onda é reduzido pela metade e a relação sinal/ruído da fase portadora aumenta. A técnica foi desenvolvida por Counselman (cf. Counselman, Steinbrecher 1982). Atualmente muitos receptores de duas frequências usam este tipo de aproximação na fase portadora L2.

Hoje em dia não há dúvida alguma que, pelo menos, o código C/A será acessível aos usuários civis. De qualquer forma, esta técnica é muito interessante para acessar a L2 em tempo sem o código P (AS ativada).

Está em desenvolvimento novas técnicas de alto rendimento que fazem uso do sinal L2, mesmo com o código P cifrado (encryption). Estes processos não trabalham por completo sem o uso do código, uma vez que utilizam parte do código P da L1 para apoiar o rastreamento da L2, aproveitando que ambas as portadoras L1 e L2 têm a mesma modulação cifrada. Como

resultado, se dispõe de medição do código e da fase portadora (onda completa) de L1 e L2, enquanto a AS estiver ativada (Seeber, 1994). Os receptores modernos usam e combinam algumas características mencionadas aqui, para propiciar sinais mais precisos quanto possível.

2.6 OBSERVAÇÕES GPS E EQUAÇÕES DE OBSERVAÇÕES

A sintonia de um satélite se faz pela demodulação do código. Para tanto, o receptor gera o mesmo código do satélite. Se os relógios do satélite e do receptor estivessem sincronizados, o código recebido do satélite encontrava-se atrasado de um tempo τ , igual ao tempo que a portadora gastou para viajar desde o satélite até o receptor. Portanto, se o receptor atrasar o seu código de um tempo igual a τ , o produto dos códigos recebido pelo satélite e o gerado pelo receptor será igual a 1, desde que os códigos assumem simultaneamente os valores de +1 ou -1. Este tempo é, portanto, uma medida do tempo de propagação do sinal desde o satélite até o receptor.

Como o código C/A tem um período curto (1 milissegundo), τ pode admitir múltiplos valores. Assim a medida do tempo de propagação da portadora desde o satélite até o receptor pode conter múltiplos de 1 milissegundo, tornando a medida ambígua. Entretanto, a máxima correlação pode ser obtida dando acesso às informações correlacionadas a época da emissão do código C/A com a época do código P. Como o código P tem um período longo, a medida que provê a máxima correlação é única e é uma medida do tempo de propagação. Na prática o tempo τ medido contém os efeitos perturbadores, tais como: estado do relógio do satélite e do receptor, efeitos ionosférico e troposférico na velocidade de propagação dos sinais. Devido a estes fatores o produto de τ pela velocidade da luz é chamada pseudo-distância.

Definindo

- T_t - tempo de transmissão no sistema GPS;
- T_s - tempo de transmissão no relógio do satélite;
- t_s - tempo de recepção no sistema GPS;
- t_r - tempo de recepção no relógio do receptor;
- dt_s - erro do relógio do satélite com respeito ao tempo do sistema GPS;
- dt_a - atraso na propagação devido a atmosfera;
- ε_r - ruído de observação;
- R - distância inclinada;
- dt_u - erro de sincronismo do relógio entre o tempo do sistema GPS e o relógio do receptor

a equação de observação da pseudo-distância:

$$PR = c(t_r - T_s) + \varepsilon_r \quad (01)$$

mas

$$t_r = t_s + dt_u \quad (02)$$

$$T_s = T_t + dt_s \quad (03)$$

$$PR = c(t_s - T_t) + cdt_u + cdt_s \quad (04)$$

sendo

$$c(t_s - T_t) = R + cdt_a \quad (05)$$

onde dt_a é o desvio na propagação devido a atmosfera :

$$PR = R + cdt_u + cdt_a - cdt_s + \varepsilon_r \quad (06)$$

A equação tem o carácter iterativo porque a distância inclinada R entre o receptor B e o satélite S para a época de transmissão e recepção é :

$$R^2 = (X_s(T_t) - X_B(t_r))^2 + (Y_s(T_t) - Y_B(t_r))^2 + (Z_s(T_t) - Z_B(t_r))^2 \quad (07)$$

com

$$T_s = t_r - (R/c) \quad (08)$$

No processo da fase portadora a equação de observação é a diferença entre a fase da portadora transmitida $\phi(T_s)$, definida no sistema de tempo do satélite e a fase da frequência de batimento $\phi_0(t_r)$, definido no tempo do receptor. A fase, assim observada, é :

$$\phi_m(t_r) = \phi(T_s) - \phi(t_r) \quad (09)$$

$$\phi(T_s) = \phi_m(t_r) + \phi(t_r) = \phi_m(t_r) + t_r f_0 \quad (10)$$

sendo

$$\phi(t_r) = t_r f_0 \quad (11)$$

Pela geometria da figura (2.6.1.):

$$\Phi(T_s) = N + \phi(T_s) \quad (12)$$

sendo N o número inteiro de ciclos. Pela relação entre o tempo, fase e frequência:

$$T_t = \frac{\Phi(T_s)}{f(T_s)} = \frac{N + \phi(T_s)}{f(T_s)}$$

$$T_s = T_t + N/f \quad (13)$$

A pseudo-distância pela medição da fase é :

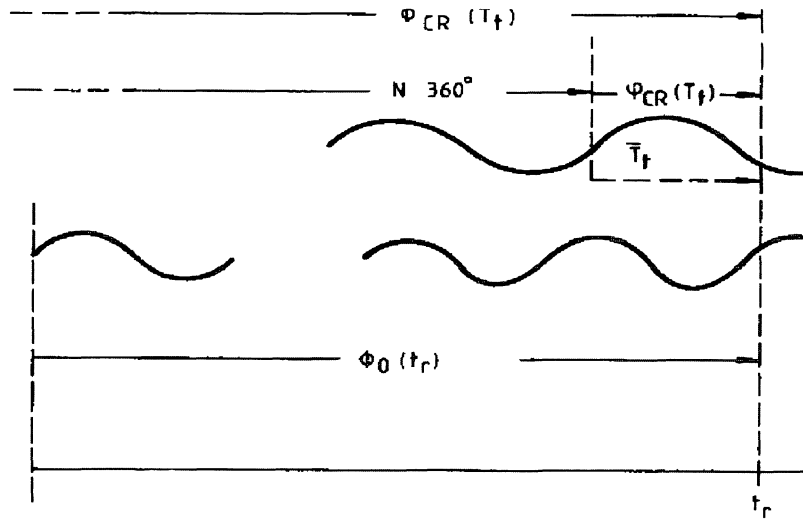
$$PR = c(t_r - T_s) = c(t_r - T_s + N/f)$$

$$PR = c(t_r - T_s) + cN/f \quad (14)$$

ou

$$PR = R + cdt_u + cdt_a + cdt_s + cN/f + \epsilon_r \quad (15)$$

FIGURA 2.6.1.- MEDIDA DA FASE PORTADORA (Seeber, 1994).

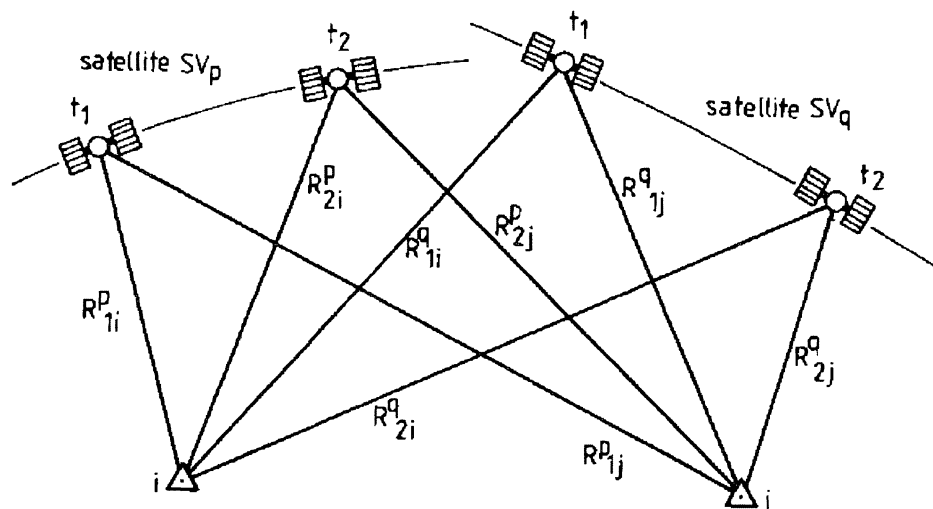


2.7 COMBINAÇÕES LINEARES

Tanto as observações da fase portadora como da fase de código propiciam o processamento da pseudo-distância. Para 2 satélites (p,q) e 2 receptores (i,j), (fig. 2.7.1) em épocas diferentes (t_1 e t_2) podemos processar 8 medições de pseudo-distâncias, a saber (Seeber, 1994):

$$PR_{1i}^p ; PR_{1j}^p ; PR_{2j}^p ; PR_{2i}^p ; PR_{1i}^q ; PR_{1j}^q ; PR_{2i}^q ; PR_{2j}^q$$

FIGURA 2.7.1 -COMBINAÇÕES ENTRE 02 RECEPTORES E 02 SATÉLITES.



As observações da fase da portadora e da fase do código das duas frequências proporcionam a determinação da pseudo-distância. Porém, pode ser vantajoso utilizar todas as observações e suas combinações lineares no processo de estimação dos parâmetros.

Uma das vantagens do uso de combinações consiste na eliminação ou redução dos erros existentes nas observações originais.

2.7.1 Método Clássico

2.7.1.1 Simples Diferença de Fase

Pode-se formar simples diferença de fase entre dois receptores, entre dois satélites e duas épocas. A diferença entre duas épocas corresponde a solução Doppler. Usualmente na Geodédia se formam simples diferença entre dois receptores. Ou seja, utiliza-se o mesmo

satélite e se subtraem as medições simultâneas das pseudo-distâncias. Nesta combinação o modelo matemático é determinado através do uso de 2 estações e 1 satélite :

$$(PR_{1I}^P - PR_{1J}^P); (PR_{2I}^P - PR_{2J}^P); (PR_{1I}^Q - PR_{1J}^Q); (PR_{2I}^Q - PR_{2J}^Q)$$

a) Pela fase de código (ver eq. 06) :

$$\Delta PR_{ij} = \Delta R_{ij} + c(dt_{u_i} - dt_{u_j}) + c(dt_{a_i} - dt_{a_j}) - c(dt_{s_i} - dt_{s_j}) + \Delta \epsilon_r \quad (16)$$

ou

$$\Delta PR_{ij} = \Delta R_{ij} + c\Delta dt_u + \Delta dt_a + \Delta \epsilon_r \quad (17)$$

porém, o desvio na propagação do sinal devido a atmosfera é composta de duas partes: ionosfera e troposfera :

$$\Delta dt_a = \Delta dt_{ion} + \Delta dt_{trop} ;$$

assim :

$$\Delta PR_{ij} = \Delta R_{ij} + c\Delta dt_u + \Delta dt_{ion} + \Delta dt_{trop} + \Delta \epsilon_r \quad (18)$$

b) Usando a eq. (15) para se obter a simples diferença de fase da portadora:

$$\Delta PR_{ij} = \Delta R_{ij} + c(dt_{ui} - dt_{uj}) + c(dt_{ai} - dt_{aj}) - c(dt_{si} - dt_{sj}) + \lambda(N_i - N_j) + \Delta \epsilon_r$$

$$\Delta PR_{ij} = \Delta R_{ij} + c\Delta dt_u + \Delta dt_a + \lambda\Delta N_{ij} + \Delta \epsilon_r \quad (19)$$

$$\Delta PR_{ij} = \Delta R_{ij} + c\Delta dt_u + \Delta dt_{ion} + \Delta dt_{trop} + \lambda\Delta N_{ij} + \Delta \epsilon_r \quad (20)$$

Nas equações (18) e (20) o erro do relógio (dt_s) desaparece. Podemos, ainda, para curta distância (distância entre estações), admitir $dt_{ai} = dt_{aj}$, ou seja desaparece os termos Δdt_{ion} e Δdt_{trop} . E as duas equações tornam-se :

a) Fase de código

$$\Delta PR_{ij} = \Delta R_{ij} + c\Delta dt_u + \Delta \epsilon_r \quad (21)$$

b) Fase da portadora

$$\Delta PR_{ij} = \Delta R_{ij} + c\Delta t_u + \lambda \Delta N_{ij} + \Delta \epsilon_r \quad (22)$$

Este método oferece bons resultados para linhas de base curtas.

2.7.1.2 Dupla Diferença de Fase

A dupla diferença de fase é formada entre dois satélites e duas estações. É construída a partir da subtração entre a simples diferença de fase para dois satélites. Sua equação é desenvolvida pela simples diferença entre o receptor e a estações (eqs. 21 e 22) aplicada a dois satélites:

$$\left[(PR_{1i}^p - PR_{1j}^p) - (PR_{1i}^q - PR_{1j}^q) \right] \quad ; \quad \left[(PR_{2i}^p - PR_{2j}^p) - (PR_{2i}^q - PR_{2j}^q) \right]$$

a) Para a fase de código

$$\nabla \Delta PR = (\Delta PR_{ij}^p - \Delta PR_{ij}^q) + c(\Delta t_{u_{ij}} - \Delta t_{u_{ij}}) + c(\Delta t_{a_{ij}}^p - \Delta t_{a_{ij}}^q) + \Delta \epsilon \nabla \quad (23)$$

ou, em notação simplificada :

$$\nabla \Delta PR = \nabla \Delta PR - \nabla \Delta d_{ion} + \nabla \Delta t_{trop} + \Delta \epsilon \nabla \Delta \quad (24)$$

b) Para a fase da portadora

$$\begin{aligned} \nabla \Delta PR = & (\Delta PR_{ij}^p - \Delta PR_{ij}^q) + c(\Delta t_{u_{ij}} - \Delta t_{u_{ij}}) + c(\Delta t_{a_{ij}}^p - \Delta t_{a_{ij}}^q) + \\ & + \lambda(\Delta N_{ij}^p - \Delta N_{ij}^q) + \Delta \epsilon \nabla \Delta \end{aligned} \quad (25)$$

ou, em notação simplificada :

$$\nabla \Delta PR = \nabla \Delta R - \nabla \Delta d_{ion} + \nabla \Delta t_{trop} + \lambda \nabla \Delta N + \Delta \epsilon \nabla \Delta \quad (26)$$

Nos casos da dupla diferença de fase entre 2 satélites e 2 estação o termo \underline{dtu} é cancelado da equação (23) e (25).

As observações da dupla diferença de fase é a observação básica para muitos modelos de ajustamentos para as observações GPS.

2.7.1.3 Tripla Diferença de Fase

É formada pela diferença da dupla diferença de fase para dois tempos diferentes de observação t_1 e t_2 (fig. 2.7.1).

$$\left\{ \left[\left(PR_{1j}^p - PR_{1j}^q \right) - \left(PR_{2j}^p - PR_{2j}^q \right) \right] - \left[\left(PR_{1j}^p - PR_{1j}^q \right) - \left(PR_{2j}^p - PR_{2j}^q \right) \right] \right\}$$

a) Para a fase de código

$$\delta \nabla \Delta PR = \delta \nabla \Delta R - \delta \nabla \Delta \text{dion} + \delta \nabla \Delta \text{dtrop} + \epsilon_{\text{res}}$$

O termo da ambigüidade desaparece por este motivo este modelo é bastante empregado para obter soluções aproximadas. É, também, bastante empregado na obtenção de de cycle slip no processamento automático.

2.7.2 Combinações Lineares entre Observáveis.

Além dos métodos citados, podemos ter combinações lineares do mesmo tipo. Forma-se, desta forma, combinações lineares do mesmo tipo entre as fases portadoras ou fases de códigos. O uso principal é a eliminação do desvio na propagação devido à ionosfera. Nos últimos anos constatou-se que as combinações lineares da fase portadora podem ser usadas para resolver as ambigüidades, que é essencial para o posicionamento de alta precisão (Wübbena, 1989).

Uma combinação arbitrária das fases portadoras são formadas pelo coeficientes inteiros **n** e **m**.

$$\Phi_{n,m}(t) = n\Phi_1(t) + m\Phi_2(t) \quad (27)$$

a ambigüidade é um número inteiro se **n** e **m** é inteiro.

Uma quantidade infinita de possíveis combinações lineares é possível, porém alguns requisitos são necessários:

- coeficientes inteiros para produzir ambigüidades inteiras;
- comprimento de onda suficientemente largo para facilitar a fixação de ambigüidades;
- conter baixa influência da ionosfera;
- baixo ruído do sinal.

O quadro (2.7.1) (Wübbena,1983) mostra as combinações lineares mais importantes.

QUADRO 2.7.1 - COMBINAÇÕES LINEARES DO SINAL GPS

Sinal	n	m	λ	$\lambda/2$	VI	σ_0 . I rad
Port.	[-]	[-]	(cm)	(cm)	[-]	(mm)
L1	1	0	19,0	19,0	0,779	3,0
L2	0	1	24,4	12,2	1,283	3,9
L Δ	1	-1	86,2	43,1	-1,000	19,4
L Σ	1	1	10,7	5,4	1,000	2,4
L43	4	-3	11,4	5,7	0,070	9,1
L54	5	-4	10,1	10,1	-0,055	10,3
L0	-	-	$\approx 5,4$	$\approx 2,7$	0,000	10,0
LI	-	-	$\approx 10,7$	$\approx 5,4$	2,000	20,0
Cod. P	[-]	[-]	-	-	[-]	(m)
P1	1	0			-0,779	0,47
P2	0	1			-1,283	0,47
P Δ	1	-1			1,000	2,86
P Σ	1	1			-1,000	0,33

A coluna 2 e 3 mostram os coeficientes inteiros das combinações utilizáveis. O comprimento de onda das diversas combinações são apresentadas na coluna 4 enquanto a coluna 5 mostra o comprimento de onda efetivo para um receptor com técnica da quadratura em L2. A coluna 6 indica o valor do efeito da ionosfera e o ruído do sinal está indicado na última coluna.

Algumas combinações lineares conhecidas :

a) Wide Lane

$$L_{\Delta} = L_1 - L_2 \quad : \quad (n = 1 \text{ e } m = -1);$$

$$f_{\Delta} = 1f_1 - 1f_2 = 1575,42 - 1227,60 = 347,82$$

$$\lambda_{\Delta} = c/f_{\Delta} = 86,2\text{cm}$$

b) Narrow Lane

$$L_{\Sigma} = L_1 + L_2 \quad : \quad (n = 1 \text{ e } m = 1);$$

$$\lambda_{\Sigma} = c/f_{\Sigma} = 10,7\text{cm}$$

c) Livre de Ionosfera

$$L_i = L_{\Sigma} - L_{\Delta}$$

$$\lambda_i = c/f \cong 10,7\text{cm}$$

Este sinal, resultante da diferença da *narrow lane* e a *wide lane* é útil porque contém o efeito completo da ionosfera ajudando a modelagem de estratégia para a resolução das ambigüidades.

2.8 CONCEITO DE AJUSTAMENTO

O modelo para o ajustamento GPS é o paramétrico. Dois processos são distintos :

- estimativas dos parâmetros ;
- eliminação dos parâmetros.

A solução das equações da pseudo-distância é caracterizada pelo vetor das pseudo-distâncias -PR- e os parâmetros que descrevem a posição do satélite tão bem como a posição da estação observada. No processo da estimação dos parâmetros todos os parâmetros são

tratados como incógnitas ou alguns dos parâmetros são considerados conhecidos, como por exemplo no Programa Geonap (Wübbena, 1983).

Em geral, a equação modelo :

$$L + V = F(X) \quad (28)$$

com

$L \Rightarrow$ vetor de observação

$X \Rightarrow$ vetor das incógnitas

O vetor das incógnitas, no nosso caso :

$$X = (x, y, z, dt_u),$$

podendo, no modelo mais completo, os parâmetros adicionais :

- 3 biases do relógio por estação ;
- 3 biases do relógio por satélite ;
- 6 biases orbitais por satélite ;
- 1 parâmetro de pressão de radiação solar ;
- 1 parâmetro troposférico por estação e satélite ;
- 1 parâmetro de ambigüidade por estação e satélite a serem incorporados.

A linearização da equação pode ser obtida quando se conhece o valor aproximado das incógnitas:

$$L_0 = F(X_0)$$

e o vetor dos resíduos das observações (l) e o vetor dos resíduos dos parâmetros (x), respectivamente :

$$l = L - L_0 \quad (29)$$

$$x = X - X_0 \quad (30)$$

linearizado, temos :

$$l + v = Ax \quad (31)$$

A matriz do coeficiente - A - contém as derivadas parciais das observações com respeito aos parâmetros :

$$A = (\partial F(X) / \partial X) \quad (32)$$

o vetor solução :

$$x = A^{-1}l \quad (33)$$

sendo ε_R o ruído das medições das pseudo-distâncias (cf. equação (15)), pode-se obter o erro dos parâmetros ajustado:

$$\varepsilon_X = A^{-1}\varepsilon_R \quad (34)$$

No caso de eliminação dos parâmetros as equações de observações são formadas com as várias combinações lineares descrito no item 2.7.

2.9 SOLUÇÃO DAS AMBIGÜIDADES

Um dos problemas mais agudos na técnica de observações e processamento GPS são as ambigüidades. Chama-se *ambigüidade* o número inteiro de comprimento de onda entre o satélite e a antena do receptor.

Os principais métodos para a determinação de ambigüidade são :

- método geométrico :
- combinação de fase de código e da portadora :
- pesquisa de ambigüidade ;
- combinado.

Todos trazendo vantagens e desvantagens. Estas técnicas são minuciosamente analisadas em Wübbena (1988, 1991), Blewitt et al. (1988), Abidin(1990), Wells (1990), entre outros.

O método geométrico, indicado para bases longas, utiliza a solução Doppler, trazendo as seguintes vantagens :

- modelagem simples e clara ;
- funciona com poucos satélites ;
- aplicável a curta, média e longa distância ;
- a solução "float" propicia rápido resultado aproximado.

Porém, tem as desvantagens :

- necessidade de longo tempo de observação para obter uma boa geometria;
- influência dos efeitos não modelados, tais como : ionosfera, órbitas, etc ;
- sensível à perda do sinal não recuperado (cycle slips) .

No método da combinação do código e da fase portadora usa-se a equação (Seeber, 1994):

$$\Delta R = PR_{ij} - PR_{jk} = \lambda N + dT_a + d\varepsilon \quad (35)$$

o método é independente da geometria. Tem as seguintes vantagens :

- independência da geometria ;
- aplicação no processo cinemático ;
- aplicável a longas linhas.

São desvantagens :

- necessidade de receptores com duas frequências com código P ;
- sensível a *multipath*;
- somente as soluções da ambigüidades na banda alta (Wide lane).

O método de pesquisas ambigüidades visa reduzir o tempo necessário de observação de uma estação. Quanto maior o número de satélites rastreados melhor o funcionamento do método. A idéia básica é determinar a melhor combinação das ambigüidades em L1 e L2. O algoritmo emprega uma solução inicial para depois limitar o vetor solução a valores inteiros discretos, aplicando a técnica de otimização. Traz as seguintes vantagens :

- permite uma rápida resolução das ambigüidades (p. ex. aplicação em estático rápido) ;
- aplicação no processo cinemático verdadeiro ;
- faz uso dos inteiros das ambigüidades.

Como desvantagens, temos ;

- sensibilidade a erros sistemáticos ;
- requer um bom número de satélite.

3 A REDE FUNDAMENTAL GPS DE PERNAMBUCO

3.1 REDE DE TRIANGULAÇÃO GEODÉSICA EM PERNAMBUCO

A Rede de Triangulação Geodésica Brasileira tem no Estado de Pernambuco 96 vértices (fig. 3.1.1) e sua implantação ocorreu nas décadas 50 e 60.

Os vértices, para satisfazerem às necessidades da triangulação Geodésica clássica, estão em elevações e localidades de difícil acesso; sendo, em alguns casos, necessário usar animais como meio de locomoção ou caminhar por diversos quilômetros entre matos (caatinga ou savana). Por outro lado o aumento populacional ocorrido em algumas regiões e a falta de informações fizeram com que muitos vértices fossem danificados para o uso do solo. O número de vértices destruídos atinge aproximadamente 30% do total de vértices.

Estes problemas, aliados a grande distância entre o vértice de triangulação e a região onde se pretendia trabalhar bem como o difícil acesso a estes vértices, faria com que o transporte de coordenadas para dentro da região de trabalho ficasse praticamente inviável; alto custo e grande perda de tempo.

O Estado de Pernambuco está localizado entre as latitudes 7°30'S e 9°30'S e as longitudes 34°30'W e 41°00'W. Percebe-se pelas diferenças que o Estado tem seu desenvolvimento em longitude (fig. 3.2.1). Suas vias principais de acesso são as BRs 101, 232, 432 e 110 e foi nas proximidades destas vias que se concentraram os maiores aglomerados populacionais.

Com isto a CELPE tem a maioria de suas subestações nestas cidades ao longo das BRs. Em fevereiro de 1992 iniciou-se o planejamento da Rede Fundamental e uma das preocupações era a localização dos marcos, de forma a impedir o máximo possível sua destruição.

FIGURA 3.1.1 - REDE DE TRIANGULAÇÃO NO ESTADO DE PE.

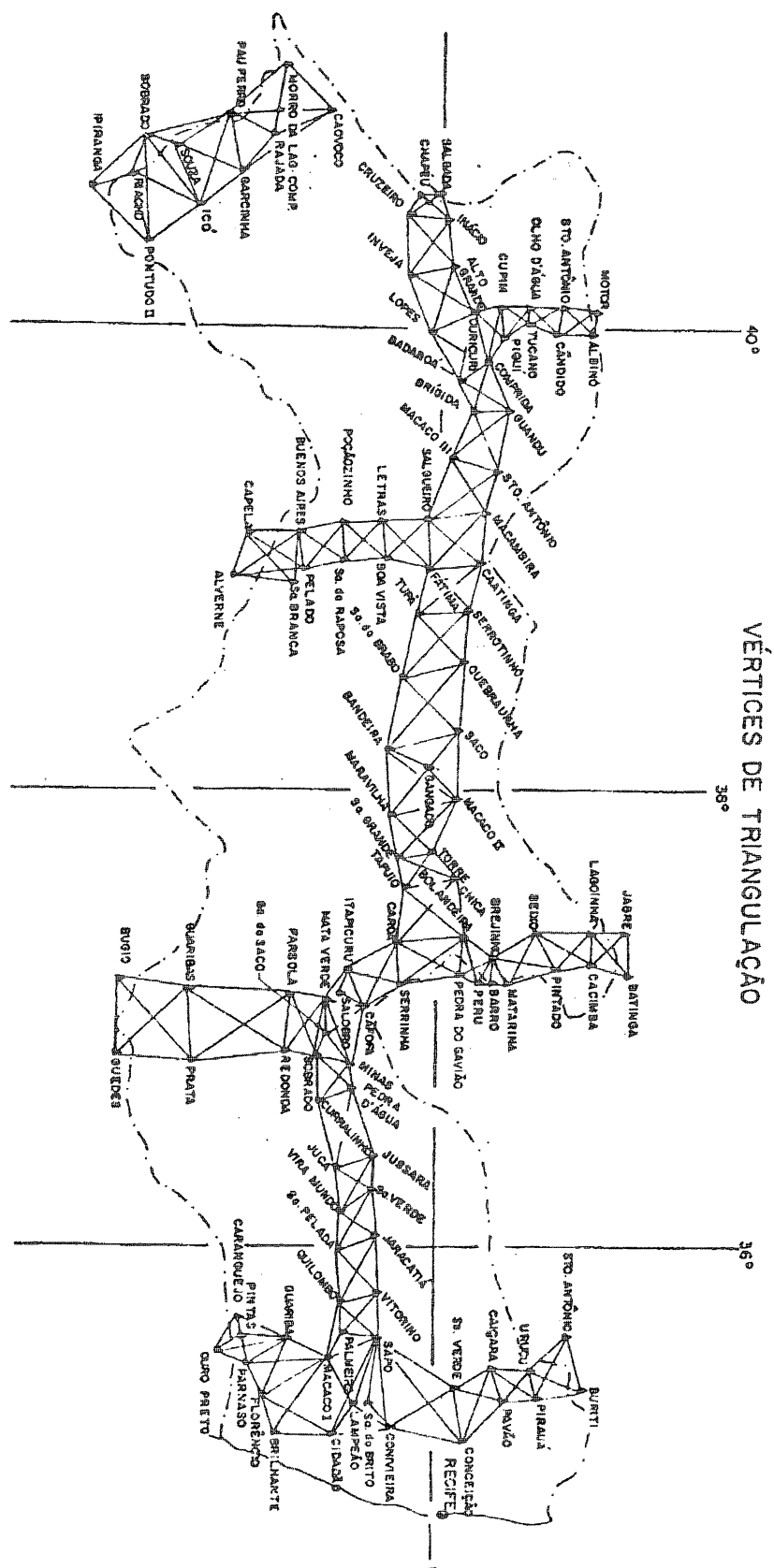


FIGURA 3.2.1 - ESTADO DE PERNAMBUCO E VIAS PRINCIPAIS



3.2 PLANEJAMENTO DA REDE FUNDAMENTAL GPS

3.2.1 Escolha dos Locais dos Vértices

A escolha do local dos vértices obedeceu às seguintes regras básicas:

- localidade onde pudesse ser evitado, ao máximo, a destruição dos marcos;
- fácil acesso;
- não houvesse obstrução do horizonte sobre uma elevação de 15° ;
- fora do raio de ação das antenas repetidoras da Companhia e,
- uma boa distribuição.

Foram escolhidos os terrenos das subestações 69/13.8KV e as seccionadoras da CELPE para garantir a preservação dos marcos, como também para servir, juntamente com um outro ponto GPS para azimuth, de direcionamento no cadastramento das linhas de transmissão e distribuição de energia, além de resguardar o princípio básico do trabalho inicial: determinar uma Rede GPS Fundamental no Estado de Pernambuco como base de referência para o geoprocessamento.

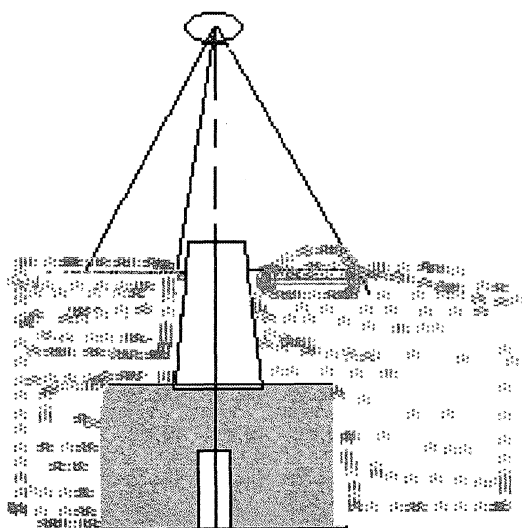
3.2.2 Reconhecimento e Monumentação

Uma vez determinada a localização dos marcos, foi efetuado um reconhecimento e, paralelamente a monumentação dos marcos:

O reconhecimento serviu para controlar o tempo de deslocamento gasto entre os vértices e na escolha do melhor local de implantação do marco dentro da subestação.

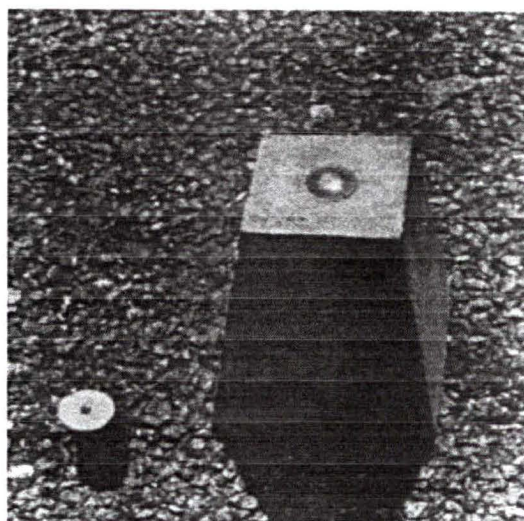
A monumentação seguiu uma característica de recuperação do vértice se o mesmo fosse destruído sem que houvesse a necessidade de reocupação. A técnica empregada consistia na colocação de um marco testemunha a uma profundidade em torno 1 metro no mesmo local do marco principal e, com a utilização do tripé com base de prumo ótico foi verticalizado e erigido o marco principal sobre o marco testemunha (fig. 3.2.2.1).

FIGURA 3.2.2.1 - VISUALIZAÇÃO DO ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO DO MARCO.



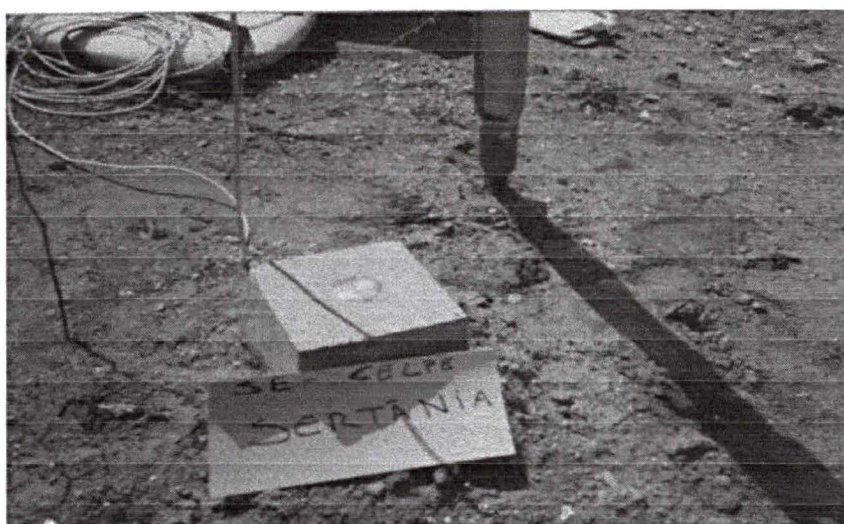
Entre o marco principal e o marco testemunha usou-se o próprio material retirado numa espessura em torno de 20cm. O marco principal de concreto com forma de tronco de pirâmide medindo 40x60x20cm com chapa de bronze de 5cm de diâmetro e o marco testemunha em forma cilíndrica medindo 30x10cm (fig 3.2.2.2).

FIGURA 3.2.2.2 - FOTOGRAFIA DOS MARCOS.



A figura (3.2.2.3) mostra um marco implantado.

FIGURA 3.2.2.3 - FOTOGRAFIA DE UM MARCO IMPLANTADO - ESTAÇÃO
SERTÂNIA



3.2.3 Operação de Campo

Os equipamentos utilizados:

- 01 par de receptores GPS, modelo 4000 SST com duas frequências sem código P da marca TRIMBLE;
- 02 antenas Geodetic L1/L2 com protetor Multipath;
- 04 baterias e
- 02 veículos.

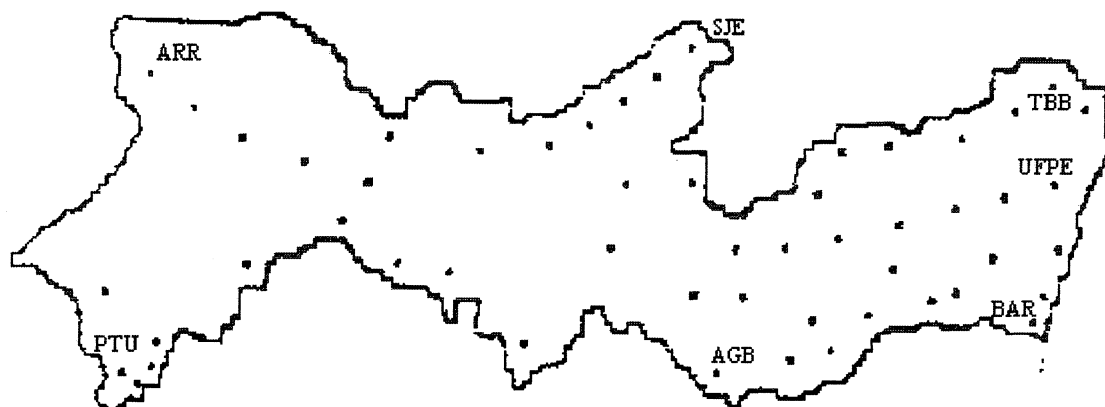
Para o trabalho de campo foram necessários 02 (dois) operadores sendo um professor e um graduando do Curso de Engenharia Cartográfica com boa experiência no manuseio dos equipamentos.

A configuração dos parâmetros para o rastreamento:

- ângulo de elevação de 15°;
- PDOP < 10 e,
- número mínimo de satélite = 03.

O número de satélite igual a 03 deve-se ao fato que o receptor é programado para desligar-se automaticamente quando o número de satélites é inferior ao indicado pela configuração. Neste caso, apesar de trabalharmos com 4 satélite é recomendável configurar para um número inferior de forma que, no limite, a perda temporária de um satélite não desligue automaticamente o receptor. As observações GPS foram realizadas entre o período fevereiro de 92 e abril de 93, em estações com distância entre si que variam de 7 a 176km, em um total de 102 estações em todo o Estado (fig. 3.2.3.1). Nesta época o sistema GPS não se encontrava completo, tendo em torno de 14 satélites em órbita; era inevitável que em alguns períodos do dia não houvesse constelação para o rastreamento.

FIGURA 3.2.3.1 - REDE DE ESTAÇÕES GPS NO ESTADO



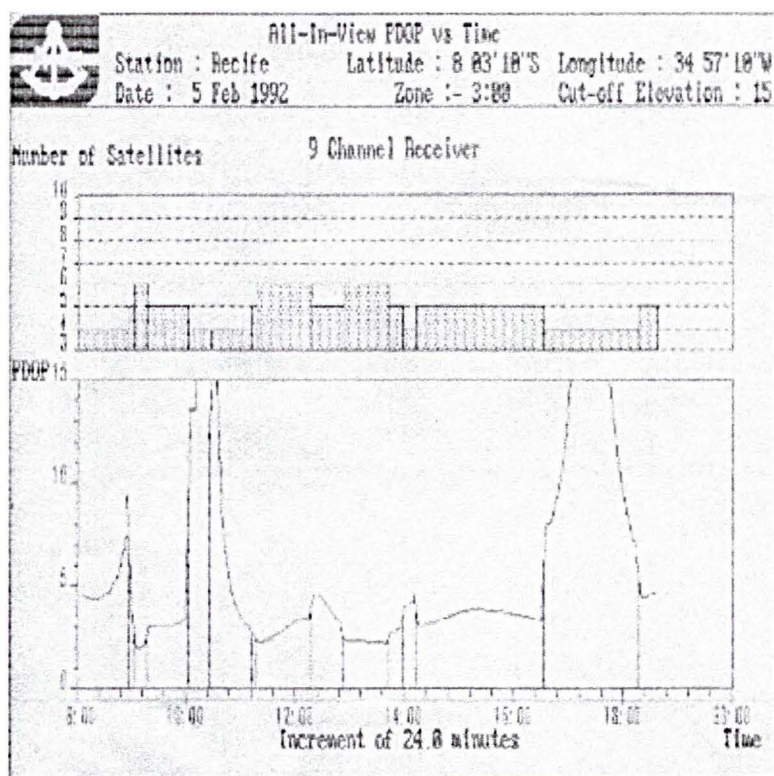
O planejamento tornou-se uma peça importante para conduzir todo o projeto. Através do programa PLAN, verificou as melhores condições: $pdop < 10$ e mínimo de 04 satélites, para os dias de rastreo. Com o gráfico (fig. 3.2.3.2) verifica-se quais os melhores horário de rastreo e deste modo, planejar os roteiros de rastreo/locomoção. Assim, programou-se os itinerário e os rastreo de forma que no momento de condições desfavoráveis para as observações o pessoal estivesse em movimento para outro vértice.

O fabricante traz como recomendação o seguinte aspecto: distância 10km até 50km com 4 satélite tempo de rastreo de 60min acima de 50km com 4 satélite 90 min. Procurou-se seguir esta recomendação de forma que o período médio observação foi de 60 minutos para as linhas de base. Foram efetuados testes em algumas linhas de base com o período médio de 3 horas de rastreo (Romão, 1995).

A cronometragem entre os percursos foram exaustivamente analisados com base no reconhecimento para obter o maior número de linhas por dia de trabalho. Em função das adversidades procurou-se deixar um equipamento fixo (base) e um outro itinerante, porém, de maneira, a formar quadriláteros.

As linhas de base eram imediatamente pré-processadas no dia posterior às observações de campo para verificação da consistência dos dados; em caso de necessidade se reocupava os vértices.

FIGURA 3.2.3.2 - GRÁFICO DA SITUAÇÃO DOS SATÉLITE PARA 5-2-92



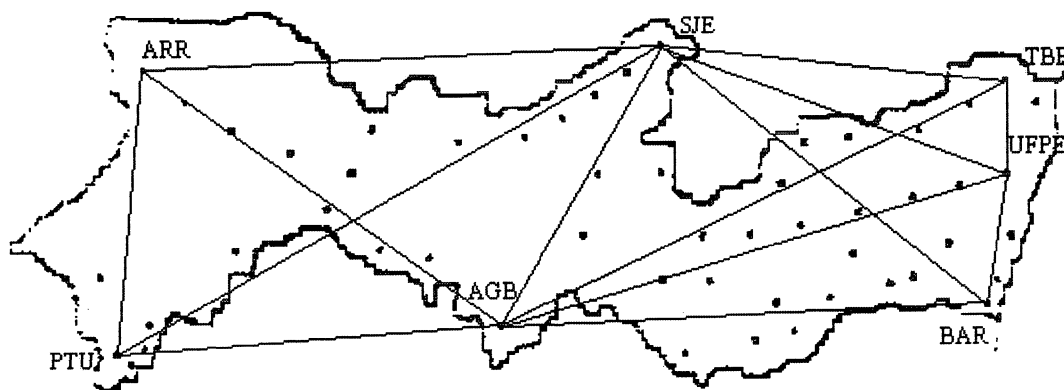
3.2.4 Grande Rede

Posteriormente, observou-se a necessidade de uma complementação na Rede Fundamental, para melhor distribuição de pontos de apoio, tendo em vista que o único ponto de coordenadas conhecida com precisão era o vértice UFPE. Este fato gerava uma propagação de erro em escala e orientação, principalmente, nos vértices mais afastados do vértice UFPE.

Para minimizar o efeito da propagação e aumentar a consistência da rede evitando distorção em escala e azimuth, foi idealizado uma rede de tal forma que os vértices desta nova rede fossem comum a Rede Fundamental.

Analisando a configuração do Estado de Pernambuco, foi implementada a rede, cujos vértices foram (fig. 3.2.3.3): UFPE, Águas Belas (AGB), São José do Egito (SJE), Araripina (ARR), Petrolina (PTU), Timbaúba (TBB), e Barreiros (BAR), no total de 07 vértices, formando dois quadriláteros completos distribuídos ao longo do Estado com um tempo de observação de 8 horas. Esta nova rede foi, então, denominada de Grande Rede e incorporada a Rede Fundamental GPS do Estado

FIGURA 3.2.3.3 - GRANDE REDE DO ESTADO



4 PROCESSAMENTO DA REDE FUNDAMENTAL GPS

4.1 INTRODUÇÃO

A Rede Fundamental GPS do Estado de Pernambuco está ligado à Rede Nacional GPS (Pereira, 1993) através da estação UFPE-Recife (Romão, 1995). Tendo sido observada por vinte dias com duração de 24 horas na Campanha BRASION'91 (Campos et al. 1993; Wanninger, 1993).

O vértice, cujas coordenadas foram fornecidas pelo IBGE e utilizadas como coordenadas de partida (quadro 4.1.1) para os cálculos das demais coordenadas e tomado como fixo para posterior ajustamento foi o ponto UFPE.

QUADRO 4.1.1 - COORDENADAS DO VÉRTICE UFPE FORNECIDAS PELO IBGE

	ϕ (S)	σ (m)	λ (w)	σ (m)	H	σ (m)
UFPE	8°03'10.90236"	0.04	34°57'16.93763"	0.14	49.0530m	0.09

4.2 CÁLCULO DAS LINHAS DE BASE

4.2.1 Processamento com o Programa Comercial da Trimble

O programa inicialmente utilizado para o processamento foi o TRIMVEC rev. d de Julho de 1990, do fabricante do receptor. Este programa apresentou posteriormente problema no processamento. Isto ocorre quando o número de satélites observados é superior a 9 (nove). No início, o problema não se mostrou, devido à constelação GPS não se apresentar completa,

contudo, num período longo de observação, p. ex.: mais de 10 horas de rastreamento, o programa processava os nove primeiros satélites rastreados eliminando os demais do processamento. A falha foi contornada com a nova versão do TRIMVEC rev. e.

O sistema permite duas maneiras de processamento:

- automático
- manual.

No processamento automático, o arquivo padrão (default) é o gabarito (templat) para o cálculo com a frequência L1, não se utiliza a frequência L2 ou suas combinações lineares, todavia, o operador pode modificar o gabarito obtendo controle sobre o processamento. Esta alteração no gabarito padrão é denominada de processamento manual.

Em qualquer processamento se obtém três tipos de arquivo solução: tripla diferença de fase (.TRP), aplicável para longas distâncias (>50km); dupla diferença de fase (.FLT), para médias distâncias (>15km e <50km) e dupla diferença de fase fixando o inteiro (.FIX ou .OPT), aplicável para curtas distâncias (<15km). Esta última solução pode ter a extensão (.OPT) se o programa executável for o TRIMMBP (processamento de múltiplas bases). O arquivo solução .OPT pode ser igual ao arquivo .FIX ou .FLT, se no processamento o inteiro foi fixado a igualdade ocorre com a extensão .FIX, caso contrário, será .FLT.

O manual da Trimble Navigation recomenda o quadro (4.2.1.1) de avaliação estatística para verificação da confiabilidade dos resultados obtidos.

QUADRO 4.2.1.1 - RELAÇÃO ENTRE A DISTÂNCIA E PRECISÃO

Distância (Km)	Ratio	RMS (critério)	RMS
0 - 10	> 3.0	$0.02 + (0.004 * L)$	0.02 - 0.06
10 - 20	> 2.8	$0.03 + (0.003 * L)$	0.06 - 0.09
20 - 30	> 2.6	$0.04 + (0.0025 * L)$	0.09 - 0.115
30 - 40	> 2.4	$0.04 + (0.0025 * L)$	0.115 - 0.14
40 - 50	> 2.2	$0.08 + (0.0015 * L)$	0.14 - 0.17
60 - 100	> 2.2	0.17	0.17
> 100	> 2.2	0.20	0.20

L é o comprimento da distância em quilômetros. O *ratio*, também denominado de *fator de qualidade*, é um parâmetro estatístico que indica o grau de confiabilidade na linha de base processada. A Trimble Navigation recomenda, por suas experiências, a aplicação do quadro acima. O RMS indica o nível de ruído nos dados coletados, sua unidade é o *ciclo* (comprimento de onda). É sugerido não utilizar linhas de base cujos valores excedam aos do quadro acima. Valores maiores podem indicar: alta atividade ionosférica, multipath, interferência, etc.

Esta classificação é puramente formal, feita para pessoas não especializadas. É importante, para melhorar a avaliação técnica e, no nosso trabalho, inicialmente foi utilizada esta classificação.

Procurou-se determinar todas as soluções possíveis para as linhas de base através das combinações lineares e posteriormente verificar qual a melhor para ser utilizada no ajustamento da rede. Assim, efetuamos 12 processamentos para uma mesma linha de base, á saber:

- 03 soluções em L1 (= 19cm);
- 03 soluções em L2 (= 24,4cm);
- 03 soluções em L1L2 (= 34,4cm);
- 03 soluções em Li (= 10,7cm).

Vale ressaltar que a solução L1L2 tem comprimento de onda igual a 34,4cm e a combinação linear denominada de *widelane* (Wübbena,1983) tem comprimento de onda igual a 86,2cm, contudo no manual do fabricante chama-se a solução L1L2 erroneamente de *widelane*.

O quadro 4.2.1.2 mostra um exemplo do processamento de duas linhas de base: UFPE-ECD e UFPE-VSA; tendo o vértice UFPE como coordenadas conhecidas.

QUADRO 4.2.1.2 - EXEMPLO DO CÁLCULO DE LINHAS DE BASE USANDO O TRIMVEC E SUAS SOLUÇÕES

Linha de base	Solução	Distância (m)	σ (cm)
UFPE - ECD (L1)	OPT	45437.67	0.16
	FLT	45437.69	0.59
	TRP	45437.49	4.79
UFPE - ECD (L2)	OPT	45437.47	0.32
	FLT	45437.44	1.06
	TRP	45437.25	6.98
UFPE - ECD (L1L2)	OPT	45438.17	0.27
	FLT	45438.13	0.84
	TRP	45438.15	7.08
UFPE - ECD (LI)	OPT	*****	****
	FLT	45432.51	57.28*
	TRP	45437.86	2.93
UFPE -VSA (L1)	OPT	39848.04	0.12
	FLT	39848.16	0.90
	TRP	39848.10	5.30
UFPE -VSA (L2)	OPT	39848.10	0.20
	FLT	39848.12	1.37
	TRP	39848.10	8.29
UFPE -VSA (L1L2)	OPT	39848.17	0.34
	FLT	39848.22	1.34
	TRP	39847.97	9.83
UFPE -VSA (LI)	OPT	*****	****
	FLT	*****	****
	TRP	39848.07	4.65

O número de soluções para uma mesma linha de base é grande, a escolha da melhor solução fica desta forma trabalhosa e na prática torna-se inviável, se levarmos em consideração que numa rede existem diversas figuras geométricas fechadas. Como exemplo: para um quadrilátero, temos que combinar 12 soluções para as 4 linhas - 495 possibilidades -, simplesmente impraticável.

Pode-se observar pelo quadro 4.2.1.2 para algumas soluções a distância tem o desvio-padrão demasiado alto, p.ex. UFPEECD em Li e UFPEVSA em L1L2. Em algumas outras, não foi possível processar.

No caso de figura geométrica fechada, deve-se utilizar o programa TCLOSE, fornecido pelo fabricante, que calcula o seu erro de fechamento através do polígono fechado e admite-se como melhor solução aquela que apresenta menor erro de fechamento.

QUADRO 4.2.1.3 - CÁLCULO DO ERRO DE FECHAMENTO DE UM QUADRILÁTERO (ECD-JUR-UFPE-VSA) UTILIZANDO O PROGRAMA TCLOSE

Start Traverse at Station: ECD_		
Starting Coords :	8°21'35.41197" S 35°13'44.25510" W	88.226
Baseline 1		
File Name: ECD_JUR_.FLT		
From Station: ECD_ To Station: JUR_ Distance Travelled (m):	7374.801	
Current Coords :	8°17'36.09041" S 35°13'25.49605" W	83.032
Baseline 2		
File Name: VSA_JUR_.FLT		
From Station: JUR_ To Station: VSA_ Distance Travelled (m):	28652.237	
Current Coords :	8°07'15.94539" S 35°18'34.99616" W	165.071
Baseline 3		
File Name: UFPEVSA_.TRP		
From Station: VSA_ To Station: UFPE Distance Travelled (m):	68500.315	
Current Coords :	8°03'10.90287" S 34°57'16.93960" W	49.010
Baseline 4		
File Name: UFPEECD_.FLT		
From Station: UFPE To Station: ECD_ Distance Travelled (m):	13938.446	
Current Coords :	8°21'35.41265" S 35°13'44.25480" W	88.187
End Traverse at Station: ECD_		
Distance Travelled (m):	113938.446	Precision (ppm): 0.39
dx: -0.028 dy: 0.031 dz: -0.015 dh: -0.038		
Ending Coords :	8°21'35.41265" S 35°13'44.25480" W	88.187
Reference Coords:	8°21'35.41197" S 35°13'44.25510" W	88.226

Analisando o quadro 4.2.1.2 conjuntamente com o quadro 4.2.1.3 verifica-se que a melhor solução para a linha de base UFPE-VSA é a tripla diferença de fase (.TRP) em Li , não obstante o manual recomenda a solução (.FLT) para linhas inferiores a 50km. A precisão foi de 0.39 ppm em fechamento da figura.

Como exemplo, usando a solução UFPE-VSA.FLT em Li no programa TCLOSE o erro de fechamento é de 1.76ppm, conforme resultado abaixo:

QUADRO 4.2.1.4 - EXEMPLO COM A SOLUÇÃO .FLT

Distance Travelled (m):	113938.344	Precision (ppm):	1.76
dx:	-0.196	dy:	0.013
dz:	0.043	dh:	-0.172
Ending Coords :	8°21'35.41138" S	35°13'44.25845"W	88.053
Reference Coords:	8°21'35.41197" S	35°03'44.25510"W	88.226

Com o uso deste programa pode-se avaliar qual a melhor solução para a linha de base e utilizá-la para o ajustamento, como foi o nosso caso. No anexo encontra-se todas as linhas de bases calculada e que foram usadas no ajustamento.

Outras combinações fornecem erro de fechamento maiores. Para uma pessoa leiga no assunto a solução adequada não seria a solução ideal, isto deixa claro a importância de um especialista na área, no caso, um engenheiro Cartógrafo.

4.2.2 Processamento com o Programa Científico - Geonap

O Sistema **GE**Odetic **NA**vstar **P**ositioning (**GEONAP**) foi desenvolvido no IFE (Instituto de Geodésia da Universidade de Hannover) para o processamento de dados GPS nos anos 1984 à 1989 (Wübbena,1991) .

O problema da ambigüidade pode ser resolvido com o **GEONAP** através da combinações lineares com:

- método combinado da fase portadora e do código;
- método geométrico;
- técnicas da wide lane (banda larga) e extra wide lane e,
- modelagem da ionosfera.

O algoritmo de estimação dos parâmetros consiste numa combinação do ajustamento dos mínimos quadrados aplicado no modelo Gauß-Marcov e o filtro de Kalman (Wübbena, 1989). Os parâmetros que devem ser estimados são: coordenadas do receptor, órbitas do satélite (arco curto), relógios do receptor e do satélite, parâmetros troposféricos, parâmetros do modelo ionosférico e ambigüidades.

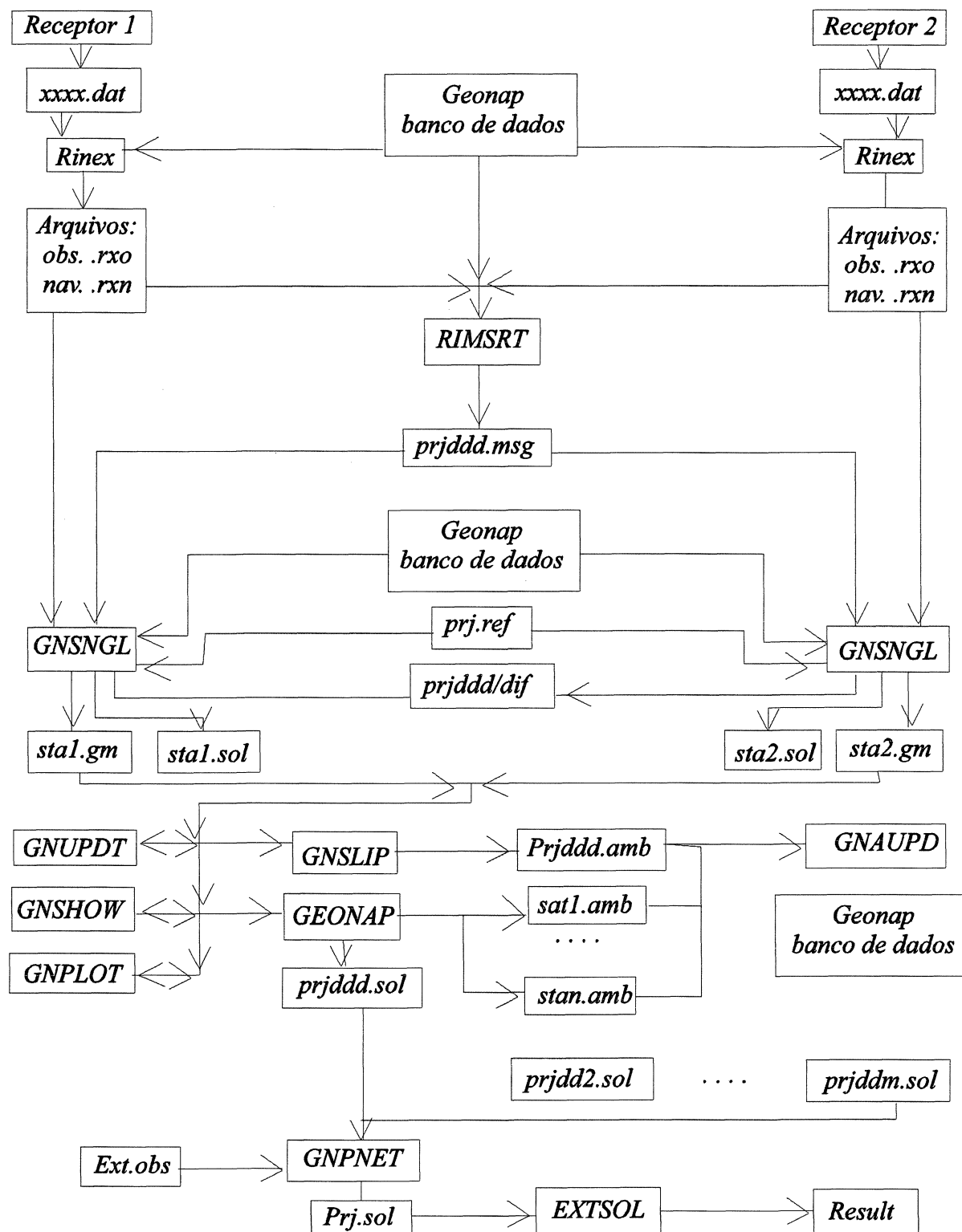
O sistema GEONAP na realidade é composto de diversos programas com funções específicas, além de um arquivo de banco de dados com os elementos iniciais. A figura (4.2.1.1) apresenta o organograma do sistema Geonap.

Usou-se o Geonap para calcular a Grande Rede e a Rede Fundamental GPS o quadro (4.2.2.2) apresenta os resultados das mesmas linhas de base determinadas com o Trimvec, as demais encontram-se em anexo.

QUADRO 4.2.2.2 - EXEMPLO DO CÁLCULO DE LINHAS DE BASE USANDO O GEONAP

Linhas de base	Distância (m)	σ (m)
UFPEECD	45437.95	0.11
UFPEVSA	39848.14	0.08

FIGURA 4.2.1.1- ORGANOGRAMA DO SISTEMA GEONAP.



4.2.3 - ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS SOLUÇÕES DOS DOIS PROGRAMAS.

As soluções dos dois programas foram comparadas através das distâncias calculada e o resultado completo encontra-se no anexo.

4.2.3.1- COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS ENTRE O TRIMVEC E O GEONAP

Linhas de base	Δ Distância (cm)
BRG ANG	-13.28
BRG GAN	-91.01
BTF CDD	-28.90
FARIBUQ	16.50
FARIPQR	- 7.03
SVDISUB	1.95
TJP GON	- 7.03
UFPEBTF	20.89
UFPECDD	-26.95

Pode-se perceber, que em algumas soluções, a diferença de distância atinge 1 metro em os dois programas.

Conforme discutido anteriormente o trabalho na escolha da solução da linha de base é bastante delicado e requer um esforço muito grande na sua determinação. Isto dificulta o processo tendo em vista que para o ajustamento uma única solução é requerida.

O programa Geonap, por sua vez, fornece uma solução única sendo portanto de menor esforço na construção dos elementos para o ajustamento.

4.3 AJUSTAMENTO DA REDE

4.3.1 Programa Comercial - TRIMNET

O programa fornecido pelo fabricante do equipamento Trimble chama-se Trimnet. Este programa invoca outros programas para resolver o ajustamento.

Os módulos principais são:

- a) Módulo GPS
- b) Módulo de ajustamento.

a) Módulo GPS armazena os vetores na memória para inicialização do ajustamento. Este Módulo, na realidade, oferece um menu com diversas opções, sendo o item de armazenamento das linhas de base considerado como item principal. Após a leitura dos vetores um mapa é apresentado na tela.

Como problema inicial, constatamos a necessidade dos arquivos .SSF (arquivo binário) gerado pelo processamento das linhas de base e os arquivos com extensão .OPT, .FLT e .TRP (arquivo ASCII) sem o qual o programa apresenta erro de leitura. O arquivo .SSF (processo estático) ou .SSK (processo cinemático) contém todas as soluções possíveis em arquivo binário. Quando o Módulo GPS é ativado ele lê os arquivos .SSF e os arquivos .OPT e determina as linhas de base para curtas distâncias como as melhores soluções. Ocorre, contudo, que a melhor solução pode ser .FLT ou .TRP, desta forma devemos modificar, através do menu, os vetores pertinentes à linha de base desejada. Para um número grande de vetores pode ocorrer confusão e erro de digitação, o que torna o processo trabalhoso. Além disto deve-se ter um cuidado especial no processo porque toda vez que haja modificação de um

vetor para outro ou uma nova inicialização do programa os dados anteriores são perdidos retornando o processo inicial.

Para contornar este problema foi gerado um arquivo .SSF individualizado para todas linhas de base de forma que para cada arquivo ASCII (.OPT, .FLT e .TRP) existiria um arquivo binário (.SSF).

Antes de iniciar propriamente o ajustamento, convém verificar, através do menu de *observação dos vetores*, do Módulo GPS, o fator de qualidade (Ratio - relação entre a solução do melhor inteiro para o segundo melhor), um valor alto para o fator de qualidade indica melhor confiabilidade na solução, recomenda-se não utilizar vetores cujo valores para o fator de qualidade seja inferior a 3 (Trimnet, 1991). Deve-se observar a percentagem de rejeição das observações de fase durante o pré-processamento, percentagem de rejeição maior que 10 (dez) indica uma solução fraca. Na prática, o fator de percentagem, não apresentou ser de grande importância porque a linha de base poder-se-ia ser recalculada encurtando o tempo de observação e conseqüentemente diminuindo o percentual de rejeição. Estas questões devem ser observada no processamento das linhas de base para que não se torne um problema maior no ajustamento.

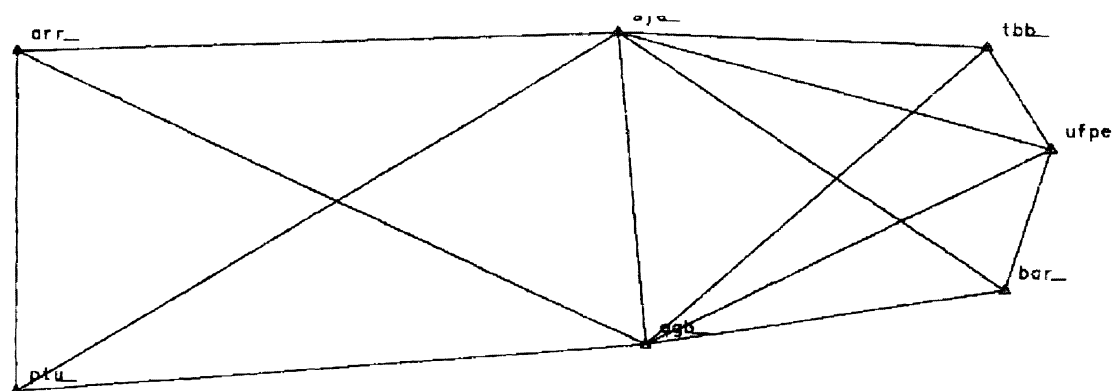
b) O Módulo de Ajustamento quando inicializado forma as equações de observações e a matriz de peso das observações. O sistema é resolvido apresentando-se as elipses de erros para cada vértice. O histograma dos desvios-padrão para as observações combinadas, observações horizontais e observações em altura são mostrados na tela seguinte. Na apresentação do histograma observa-se duas barras verticais representando o limite máximo e mínimo dos resíduos que uma observação possa ter em relação ao erro estimado. Neste caso, as observações que extrapolarem as barras, são fortes candidatas à rejeição.

Uma vez a rede ajustada, executa-se do próprio menu, através do item *display* uma análise estatística do resultado para verificar a integridade da solução e se existe necessidade de um novo ajustamento. O sumário estatístico permite uma análise no teste do χ -quadrado e do desvio-padrão por unidade de peso (fator de referência) para tomadas de decisões futuras. Os vetores são considerados ajustados quando os cálculos passarem no teste do χ -quadrado.

O problema surge para uma rede com uma grande quantidade de vértices devido ao número de opções que podem ser tomadas: exclusão e/ou troca de linhas de base, manipulação da matriz dos pesos, entre outros. O problema não tem solução imediata, é necessário um grande esforço mental e físico, utilizando-se o programa tclose e verificando sua integridade com um ajustamento preliminar.

No nosso caso, ajustou-se inicialmente a grande rede formada pelos dois quadriláteros (fig. 4.3.1.1.). Aqui foi usado o vértice UFPE como referência e as coordenadas ajustadas desta rede serviriam como vértices fixos para o ajuste da rede fundamental. Com isto, procurou-se dar estabilidade à rede fundamental.

FIGURA 4.3.1.1 - GRANDE REDE DO ESTADO DE PERNAMBUCO



O quadro (4.3..1.1) apresenta apresenta as coordenadas ajustadas.

QUADRO 4.3.1.1 - COORDENADAS AJUSTADAS COM O TRIMNET - GRANDE REDE

	ϕ (s)	σ (cm)	λ (w)	σ (cm)	H (m)	σ (cm)
UFPE	8° 03' 10.902"	0.0	34° 57' 16.937"	0.0	49.053	0.0
TBB	7° 31' 20.263"	0.8	35° 18' 17.626"	2.5	122.556	1.8
SJE	7° 28' 01.539"	0.7	37° 16' 32.419"	2.0	591.030	2.0
BAR	8° 48' 4.836"	0.8	35° 11' 26.623"	2.4	13.072	2.1
AGB	9° 07' 11.433"	0.7	37° 06' 38.790"	2.2	382.466	1.9
PTU	9° 24' 03.217"	1.0	40° 30' 21.518"	3.2	353.735	2.9
ARR	7° 35' 09.498"	1.0	40° 30' 03.519"	3.3	623.344	2.5

O desvio-padrão por unidade de peso (σ_0), também chamado de fator de referência foi 0.88. Quando este fator é menor que 1.0 o índice de exatidão nas observações é aceito como excelente (Mikhail, 1981). O quadro (4.3.1.1) mostra um desvio-padrão máximo de 3 cm em longitude. Esta rede, executada com observações em torno de 8 horas, apresentou um bom resultado - desvio-padrão em torno de 4 cm.

Com os resultados obtidos para os vértices ARR, PTU, SJE, AGB, BAR, TBB foi, então, processada a rede fundamental. As coordenadas dos sete vértices acima determinada pela grande rede foram utilizada como coordenadas de referências.

O quadro (4.3.1.2) apresenta a média aritmética do desvio-padrão em latitude, longitude e altura da Rede Fundamental. O resultado do ajuste encontra-se no anexo III.

QUADRO 4.3.1.2 - MÉDIA DOS DESVIOS-PADRÃO DA REDE FUNDAMENTAL AJUSTADA COM OS VÉRTICES DA GRANDE REDE COMO REFERÊNCIA

	em ϕ (cm)	em λ (cm)	em H (cm)
média dos desvios-padrão	2.73	7.35	5.91

O valor máximo para o desvio-padrão em latitude ocorreu no vértice NTP (10.50cm) e, no vértice CBD, houve um desvio-padrão máximo de 38.50cm. Estes vértices estão ligados por uma única linha à rede.

O Quadro (4.3.1.3) apresenta a média dos desvios-padrão para o ajustamento não utilizando os vértices da grande rede como vértices de referência. Neste caso, o vértice UFPE foi o único a ser usando como referência.

QUADRO 4.3.1.3 - MÉDIA DO DESVIO-PADRÃO DA REDE FUNDAMENTAL AJUSTADA COM O VÉRTICE UFPE COMO REFERÊNCIA.

	em ϕ (cm)	em λ (cm)	em H (cm)
média do desvio-padrão	4.50	14.11	10.48

Analisando os quadros (4.3.1.2) e (4.3.1.3) verifica-se que utilizando um maior número de vértices de referência melhora-se a precisão da rede. Neste caso houve uma diferença em torno de 50% na média aritmética dos desvios-padrão.

4.3.2 Processamento com o Programa Científico - GNPNET

O programa GNPNET faz parte do sistema GEONAP e serve para o processamento do ajuste de rede. Utiliza-se a rede com sua respectiva matriz variância-covariância para realizar os cálculos do ajustamento.

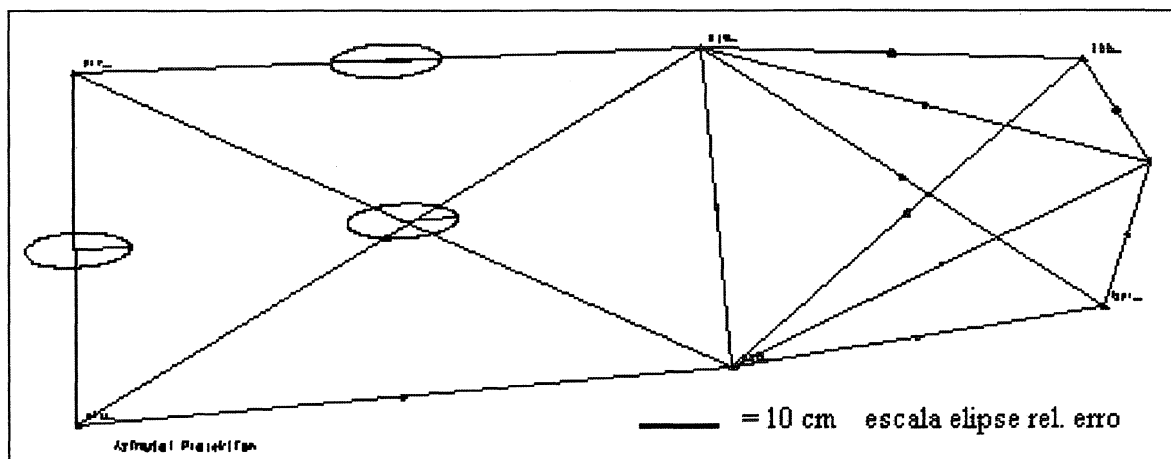
Primeiramente ajustou-se a grande rede, como no item anterior, e posteriormente a rede fundamental. O quadro (4.3.2.1) mostra a precisão relativa do ajustamento da grande rede.

QUADRO 4.3.2.1 - COORDENADAS AJUSTADA COM GNPNET

VÉRT.	ϕ (s)	σ (cm)	λ (w)	σ (cm)	H (m)	σ (cm)
UFPE	8 3 10.90236	0.06	34 57 16.93763	0.06	49.0530	0.06
AGB	9 7 11.43297	0.06	37 6 38.78959	0.06	382.5143	0.06
SJE	7 28 1.53945	0.08	37 16 32.41841	0.08	591.1417	0.08
ARR	7 35 9.49892	0.15	40 30 3.52034	0.15	623.4845	0.15
PTU	9 24 3.21714	1.21	40 30 21.51778	3.77	353.9178	1.98
TBB	7 31 20.26295	0.08	35 18 17.62694	0.08	122.6584	0.08
BAR	8 48 24.83583	0.09	35 11 26.62157	0.09	13.2084	0.09

A figura (4.3.2.1) abaixo mostra as elipses relativas de erro do ajustamento da grande rede.

FIGURA 4.3.2.1 - ELIPSES RELATIVAS DOS ERROS NO AJUSTE DA GRANDE REDE COM TODAS AS DIAGONAIS

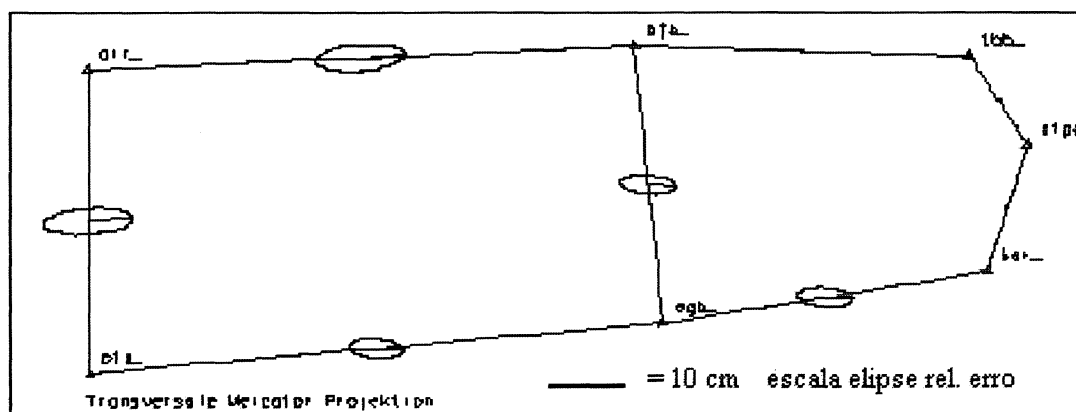


Pelo quadro (4.3.2.1) verifica-se uma precisão em torno 4 cm. Além disto, no sentido de verificar se havia necessidade da construção da figura geométrica completa, isto é, com todas as diagonais, efetuou-se um novo ajuste da grande rede sem as linhas diagonais. O quadro (4.3.2.2) e a figura (4.3.2.2) mostram os resultados.

QUADRO 4.3.2.2 - PRECISÃO RELATIVA DA GRANDE REDE SEM AS DIAGONAIS.

LINHA	$\Delta\phi$	$\Delta\lambda$	ΔH	ΔD
UFPE-	1.83	5.00	2.45	4.40
UFPE-	0.32	1.34	1.43	0.21
UFPE-	0.22	1.64	1.22	0.22
UFPE-	0.25	0.89	1.25	0.25
AGB -	1.84	5.00	2.43	1.97
AGB -	1.62	5.30	2.87	3.71
AGB -	1.83	4.99	2.44	4.88
AGB -	3.07	9.69	4.87	8.72
AGB-	1.83	4.99	2.45	4.95
SJE -	0.64	0.45	2.24	0.24
SJE -	1.26	1.62	1.98	0.26
SJE -	2.47	8.31	4.21	8.27
SJE -	0.23	0.43	0.73	0.23
ARR-	2.47	8.31	4.21	4.18

FIGURA 4.3.2.2 - ELIPSE RELATIVA DOS ERRO NO AJUSTE DA REDE GRANDE SEM AS DIAGONAIS



Os desvios-padrão em latitude não excederam a 3cm , em longitude atingiu valores de 9cm e em altura ficou em torno de 4cm. As elipses relativas de erros tem o valor máximo em torno de 10cm na linha PTU-ARR. Fica evidenciado a propagação do erro a partir do vértice fixo UFPE para os demais, aumentando a medida os pontos se afastam.

Com isto pode-se afirmar que não haveria necessidade do levantamento de todas as diagonais pois a alteração na precisão em relação à rede completa foi insignificante. Seria, contudo, interessante que houvesse mais pontos de referência para melhor rigidez.

4.3.3 Comparação Entre os Ajustamentos da Grande Rede com os Programas Trimnet e o Gnpnet

O quadro (4.3.3.1) mostra a diferença entre as coordenadas da grande rede ajustadas com o programa Trimnet e o Gnpnet.

Comparando os dois programas, Trimnet e o Gnpnet, verifica-se através do quadro (4.3.3.1) a diferença entre as coordenadas absolutas ajustadas da grande rede.

QUADRO 4.3.3.1 - DIFERENÇA ENTRE AS COORDENADAS DA GRANDE REDE AJUSTADAS COM O TRIMNET E O GNPNET.

	$\Delta\phi$ (cm)	$\Delta\lambda$ (cm)	Δh (cm)
UFPE	0.00	0.00	0.00
TBB	0.12	-2.16	-10.20
SJE	1.44	2.22	11.20
BAR	1.25	2.05	-13.65
AGB	1.20	0.36	4.82
PTU	1.17	1.05	18.31
ARR	-1.89	3.27	14.03

A diferença entre os dois ajustamento, Trimnet e Gnpnet, foi na ordem de 4cm em latitude e longitude e de 18cm em altura. Demonstrando que para trabalhos cadastrais, ambos podem ser utilizado sem nenhuma restrição.

Na figura (4.3.3.1), apresenta-se o plot da diferença entre as coordenadas ajustadas da grande rede com o Trimnet e o Gnpnet.

O ajustamento da Rede Fundamental com o program Gnpnet apresentou o seguinte resultado para a média dos desvios-padrão (quadro 4.3.4.1):

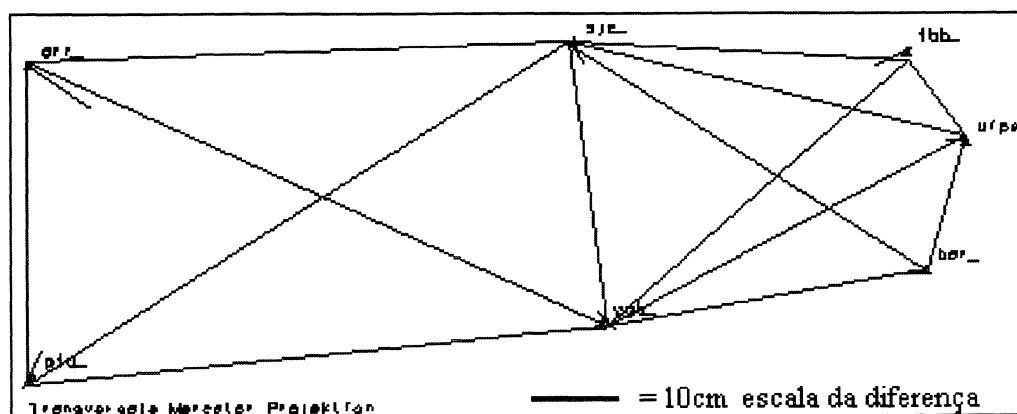
QUADRO 4.3.1.2 - MÉDIA DOS DESVIOS-PADRÃO DA REDE FUNDAMENTAL AJUSTADA COM OS VÉRTICE DA GRANDE REDE COMO REFERÊNCIA.

	$\sigma \phi$ (cm)	$\sigma \lambda$ (cm)	σH (cm)
média dos desvios-padrão	5.01	6.20	12.01

Esta média corresponde ao ajustamento com os vértices da grande rede como referência. Observa-se valores um pouco maiores que o ajustamento da rede com o

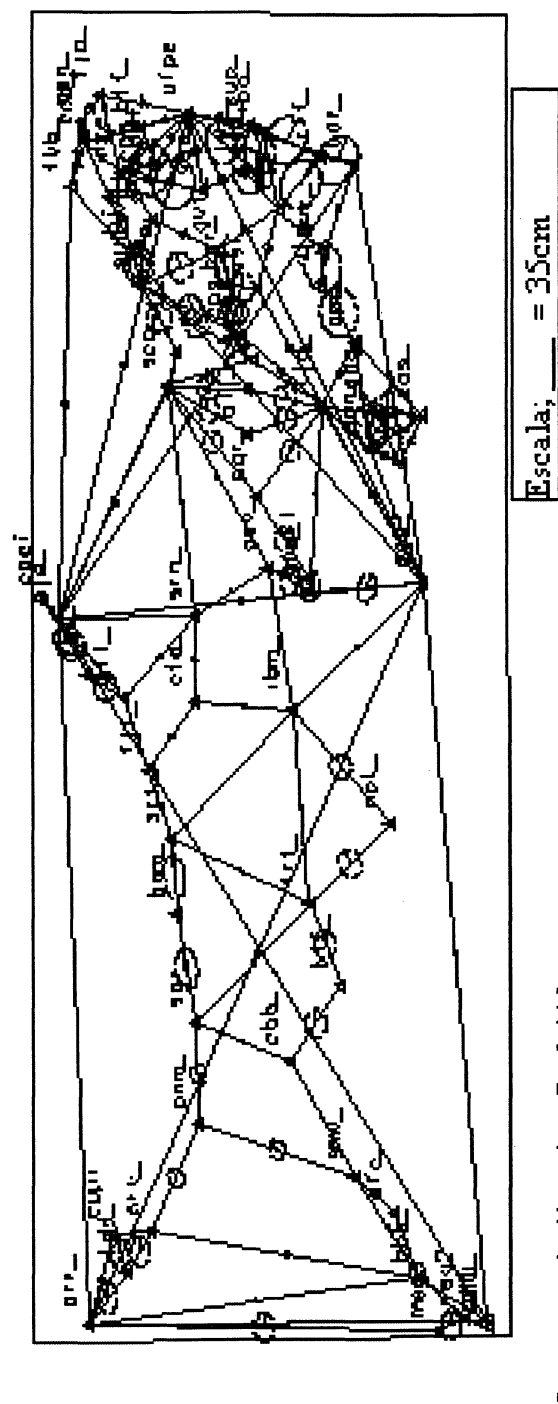
Trimble, contudo a diferença entre os valores médios das componentes horizontais (latitude e longitude) estão mais próximas aparentando uma melhor distribuição. No programa da Trimble existe uma diferença de 200% entre as coordenadas horizontais.

FIGURA 4.3.3.1. - PLOT DAS DIFERENÇAS ENTRE AS COORDENADAS AJUSTADAS DA GRANDE REDE COM O TRIMNET E O GNPNET



A figura (4.3.4.1) apresenta as elipses dos erros relativos para a rede fundamental do Estado de Pernambuco ajustada através do Gnpnet utilizando os vértices da Grande Rede como referência.

FIGURA 4.3.4.1 - ELIPSES DE ERRO RELATIVO PARA A REDE FUNDAMENTAL DO ESTADO DE PERNAMBUCO COM O PROGRAMA GEONAP



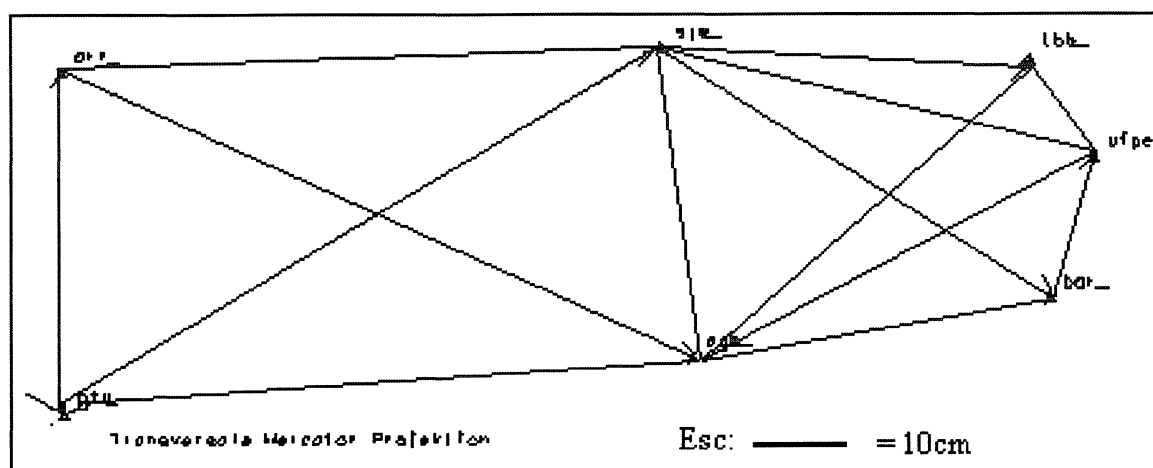
Foram utilizados os vértices da Grande Rede como referência para o ajuste da Rede Fundamental. Observa-se que o erro relativo na sua maioria ficaram abaixo de 10cm. Para 10% dos vértices o erro relativo ficou em torno de 20cm.

A figura (4.3.4.2) apresenta uma plotagem dos vetores diferença nas coordenadas ajustadas pela grande rede e a rede fundamental.

4.3.4 Comparação entre os Ajustamentos da Rede Fundamental com os Programas Trimet e Gnpnet

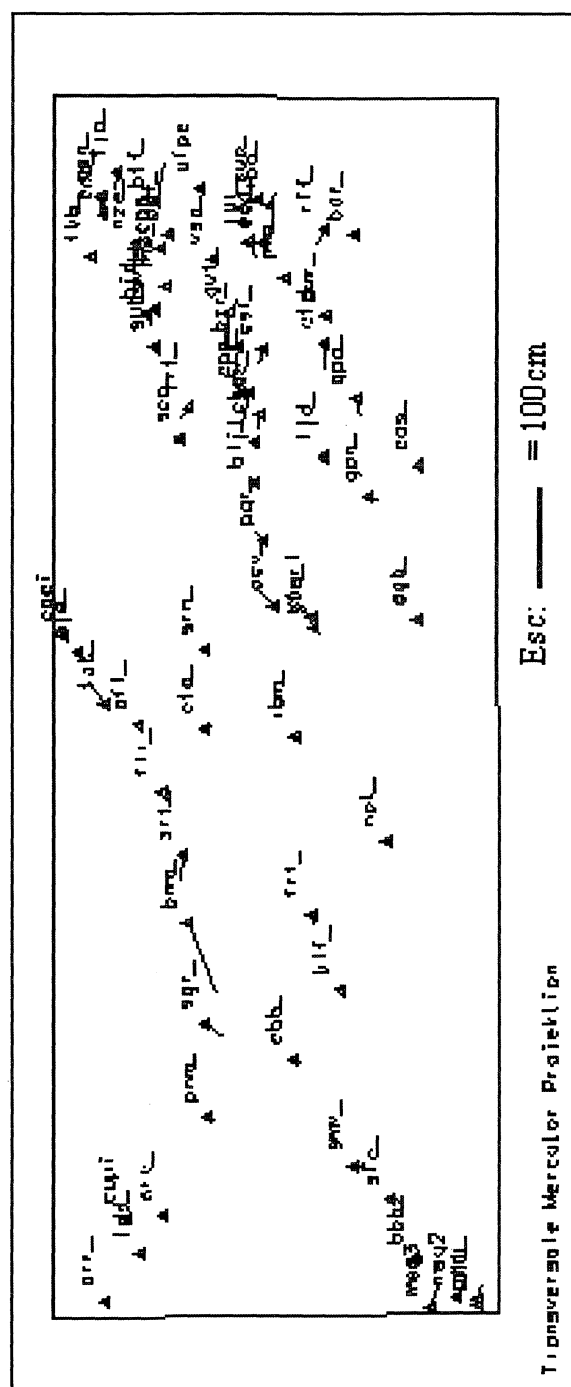
Analisando o resultado das diferenças entre os dois ajustes, verifica-se um erro nos vértices ARR e PTU em torno de 5cm, fica mais uma vez evidente a propagação dos erros para os vértices finais. Praticamente não houve discrepância nos demais vértices. Porém mostra nesta combinação a necessidade de vértices de referência em toda a região para uma melhor distribuição de erros.

FIGURA 4.3.4.2. - VETORES-DIFERENÇAS ENTRE AS COORDENADAS AJUSTADAS DA GRANDE REDE E A REDE FUNDAMENTAL COM O GEONAP



Finalmente os resultados dos ajustamentos entre o Gnpnet e o Trimnet. A figura (4.3.4.3) mostra a diferença entre as coordenadas ajustada pelos dois processos.

FIGURA 4.3.4.3. - DESVIO PADRÃO DAS DIFERENÇAS ENTRE AS COORDENADAS AJUSTADAS DA REDE FUNDAMENTAL COM O GEONAP E O TRIMNET.



Os dois processos mostram, na maioria dos vértices uma diferença de coordenadas em torno de 50cm. Para alguns vértices, a diferença ficou em torno de 1 metro, no total de 10% aproximadamente. O resultado, desta forma apresentada, em combinação dos dois ajustamento parece sugerir que o programa comercial necessita de uma reformulação para melhorar sua performance. Sabe-se que atualmente está surgindo no mercado um novo software da Trimble que poderá contornar os problemas apresentados.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os assuntos abordados nesta pesquisa procuraram identificar os pontos mais importantes na prática de um levantamento geodésico através do uso do GPS, aplicado a grandes redes.

O uso de programa comercial Trimble foi testado para a determinação de grande rede no que se refere a praticidade e precisão. O programa científico, Geonap, já testado, serviu como aferição para os resultados do programa comercial. Além evidentemente dos testes incorporados ao trabalho.

Cada etapa do trabalho, desde o reconhecimento, planejamento levantamento, cálculo das linhas de base e o ajustamento foram discutido ao longo do trabalho. Como conclusão mais importante, podem ser relacionados os seguintes pontos:

a) Os cuidados no planejamento são fundamentais para uma boa performance nos demais itens e principalmente nos cálculos. O reconhecimento da área de atuação facilita o planejamento e, através de hipóteses levantada no escritório traçando figuras que possivelmente iram ajudar nos roteiros e reduzir o tempo de locomoção.

b) As linhas de base, através do programa Trimble apresentam certa dificuldade na escolha da que melhor se adequa ao ajustamento. O programa determina a priori a melhor solução da linha isto, contudo, não implica ser a mais adequada ao ajustamento. Pode ser observado na linha UFPE_VSA , onde a critério exigia a solução .FLT e na realidade para o ajustamento foi utilizada a solução .TRP.

c) As recomendações oferecidas pelo programa comercial Trimble quanto ao tempo de observação, precisão e qualidade da solução(.OPT, .FLT e .TRP) deve ser melhor analisado. Problemas ocorreram no levantamento por considerar estas recomendações como boas.

d) O programa Geonap não apresenta as vantagens do programa comercial no que se refere a apresentação, ou seja, “telas e menus” que facilita o operador. Contudo, para pessoa qualificada no uso do GPS e com conhecimento da informática o Geonap é melhor devido os cuidados nos cálculos, determinando uma única solução para cada linha de base.

e) As facilidades na preparação dos cálculos de linhas de base pelo programa comercial Trimble fica prejudicada pela sua múltipla solução.

f) Os resultados do programa comercial para as linhas de base apresentaram satisfatório. O quadro (4.2.2.3) mostrou uma diferença em coordenadas absolutas de 15cm equivalente a aproximadamente 0.005”.

g) Com base nos testes realizados, utilizando as combinações de 1 vértice como referência e, depois, diversos vértices, conclui-se que a lei de propagação dos erros fica patente para o caso de um vértice de referência, todos os erros são acumulados no último vértice calculado. O ideal é sempre ter diversos vértices como referência e bem distribuídos na rede.

h) Os resultados do ajustamento com o programa comercial atingiu uma precisão média absoluta de aproximadamente 3cm em latitude, 8cm em longitude e 6cm em altura, precisão satisfatória para a Rede Fundamental GPS no Estado de Pernambuco servindo de referência geométrica para os diversos fins.

h) Facilidade no manejo de programas do tipo comercial faz com que pessoas não habilitada em Cartografia possa utilizá-lo. Neste caso é perigoso pois pessoas leigas, sem conhecimento teórico em Geodesia e GPS poderá obter solução inadequada.

Como recomendações e sugestões para outros levantamentos geodésicos com o objetivo de determinar coordenadas de precisão podem ser observado os seguintes aspectos:

1) Estudar a viabilidade da criação de um órgão institucional permanente envolvendo as instituições de ensino para realizar teste nos programas comerciais e nos equipamentos para avaliar os aspectos científicos de cada programa e assim verificar os procedimentos de cálculos e precisão.

2) Realizar experimento para determinar o período de observação para cada tipo de levantamento em função do equipamento e precisão.

3) Utilizar sempre figuras geométricas fechadas para obter boa precisão e determinar mais de um vértice de referência.

4) Para Redes Geodésicas de precisão, recomendamos que o tempo de observação não seja inferior a 4 horas de rastreio para linhas inferiores a 50km e de, no mínimo, 8 horas para linhas superiores a 50km. O número de receptores deve ser de 4, no mínimo, e possuir os códigos c/a e P e duas frequências.

5) Que o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) fique atento aos processos de determinação de coordenadas através da utilização do GPS, procurando, quando for o caso, solicitar os levantamentos de campos para análise.

6) Utilizar programas científicos para o cálculos de rede onde requer maior confiabilidade e índice de precisão alto.

ANEXOS

ANEXO I

CALCULO DAS LINHAS DE BASE ATRAVÉS DO GEONAP

Linhas de base	distância (m)	σ (cm)
ACV_BUQ	25690.31	0.07
ACV_SRN	44339.95	0.20
ACV_FARI	22153.56	0.14
AGB_GAN	72627.64	0.09
AGB_IBM	91578.55	0.08
AGB_LJD	102331.21	1.19
BAR_RIF	16269.62	0.11
BLJ_TCBO	22283.24	0.18
BRG_ANG	33190.64	0.10
BRG_GAN	17299.34	0.57
BTF_CDD	28514.55	0.06
BTF_PDL	22283.24	0.10
BZR_CRR	25787.75	0.14
CDD_NZE	23951.80	0.14
CDD_TBB	24819.65	0.21
COS_ANG	26445.30	0.13
COS_BRG	27534.11	0.35
COS_GAN	31865.18	0.09
COS_SGA	34064.80	1.01
JUR_ECD	7374.71	0.12
FARIBUQ	6750.76	0.13
FARIPQR	49651.41	0.11
GAN_ANG	21960.43	0.21
GAN_SGA	4102.92	0.17
GON_CDD	9687.47	0.10
GON_TBB	33486.71	0.08
GVT_BZR	19815.36	0.15
GVT_JMA	35708.79	0.10
GVT_SUB	43993.37	0.09
IPO_ECD	20474.20	0.28
IPO_JMA	39952.31	0.18
JMA_CSF	41429.28	0.08
JUR_JMA	27409.96	0.08
LJD_ACV	85903.45	0.07
LJD_BLJ	39990.52	0.07
LJD_COS	50823.17	1.66
LJD_CRR	53885.19	0.06
LJD_CSF	68125.82	0.09

LJD_GAN	32104.55	0.11
LJD_PQR	56242.98	0.11
LJD_SSC	42510.53	0.09
LJD_TCBO	38322.52	0.11
LJD_QPA	35786.40	0.06
LME_GVT	37264.91	0.13
LME_NZE	27917.33	0.13
NZE_TJP	40650.53	0.08
PDL_CPN	8943.36	0.11
PMR_BAR	46580.16	0.13
PMR_CTD	14993.34	0.13
PMR_JMA	31070.37	0.07
QPA_COS	49648.01	0.11
QPA_CTD	35310.33	0.11
QPA_GAN	53767.49	0.21
RIF_JMA	34411.87	0.18
RIF_SUP	40034.49	0.10
SCC_ACV	104400.81	0.08
SCC_BLJ	46927.82	0.14
SCC_PQR	71679.53	0.06
SCC_SSC	44182.16	0.10
SCC_TCBO	40517.46	0.08
SCC_TRT	17477.23	0.08
SJE_SCC	130120.69	0.53
SSC_TCBO	14821.19	0.09
SUB_BJD	18455.26	0.13
SUB_CRR	57295.19	0.15
SUB_SSC	67817.67	3.22
SUB_TRT	38636.42	6.23
SUP_IPO	7629.39	0.23
SVDIBJD	5476.38	0.09
SVDILME	12982.28	0.12
SVDISUB	21020.40	0.07
TJP_GON	16200.36	0.16
UFPEBTF	25170.68	0.11
UFPECDD	53630.04	0.06
UFPEECD	45437.95	0.11
UFPENZE	46050.36	0.10
UFPEPDL	30506.45	0.09
UFPESUP	31549.38	0.07
UFPETJP	45663.70	0.07
UFPEVSA	39848.14	0.08
VSA_CPN	29400.17	0.09
VSA_JUR	21277.31	0.41

ANEXO II

CALCULOS DAS LINHAS DE BASE UTILIZANDO O TRIMVEC

Linhas de base	distância (m)	σ (cm)
ACV_BUQ	25690.41	0.60
ACV_FARI	22153.63	0.16
ACV_SRN	44340.27	4.25
AGB_GAN	72627.70	0.54
AGB_IBM	91578.89	7.20
AGB_LJD	102331.20	4.45
BAR_RIF	16269.64	0.11
BLJ_TCBO	22283.60	4.88
BRG_ANG	33190.78	4.59
BRG_GAN	17300.26	19.78
BTF_CDD	28514.84	0.54
BTF_PDL	18837.56	0.26
BZR_CRR	25787.83	0.18
CDD_NZE	23952.22	0.40
CDD_TBB	24819.70	2.10
COS_ANG	26445.34	0.17
COS_BRG	27537.04	0.32
COS_GAN	31865.27	1.35
COS_SGA	34064.86	7.75
ECD_JUR	7374.80	0.81
FARIBUQ	6750.60	0.33
FARIPQR	49651.48	0.21
GAN_ANG	21960.53	4.00
GAN_SGA	4102.93	0.36
GON_CDD	9687.34	11.80
GON_TBB	33486.45	2.24
GVT_BZR	19815.32	12.03
GVT_JMA	35709.21	7.20
GVT_SUB	43993.34	3.36
IPO_ECD	20474.36	13.44
IPO_JMA	39952.04	9.47
JMA_CSF	41429.52	3.99
JUR_JMA	27410.18	0.17
LJD_ACV	85903.77	0.27
LJD_BLJ	39990.61	0.20
LJD_COS	50823.48	1.08
LJD_CRR	53885.20	3.39
LJD_CSF	68125.96	6.30
LJD_GAN	32104.41	2.67
LJD_PQR	56243.14	0.16

LJD_QPA	35786.68	8.34
LJD_SSC	42510.47	4.68
LJD_TCBO	38322.77	0.79
LME_GVT	37265.29	0.04
LME_NZE	27917.28	1.01
NZE_TJP	40650.56	2.10
PDL_CPN	8943.28	2.02
PMR_BAR	46580.30	9.48
PMR_CTD	14993.69	0.75
PMR_JMA	31070.48	1.33
QPA_COS	49647.88	4.61
QPA_CTD	35310.36	0.16
QPA_GAN	53767.45	5.44
RIF_JMA	34411.51	5.40
RIF_SUP	40034.24	10.54
SCC_ACV	104400.20	8.10
SCC_BLJ	46928.16	0.16
SCC_PQR	71679.78	0.68
SCC_SSC	44182.67	1.96
SCC_TCBO	40517.61	0.29
SCC_TRT	17477.40	1.45
SJE_SCC	130121.50	7.83
SSC_TCBO	14820.92	6.11
SUB_BJD	18455.20	1.85
SUB_CRR	57295.15	5.32
SUB_SSC	67817.98	1.14
SUB_TRT	38637.90	5.23
SUP_IPO	7629.25	4.65
SVDIBJD	5476.42	0.20
SVDILME	12982.35	0.17
SVDISUB	21020.39	1.68
TJP_GON	16200.44	2.07
UFPEBTF	25170.47	0.32
UFPECDD	53630.32	1.21
UFPEECD	45438.13	0.84
UFPENZE	46050.83	10.6
UFPEPDL	30506.49	0.16
UFPESUP	31549.27	0.20
UFPETJP	45663.86	0.68
UFPEVSA	39848.08	4.64
VSA_CPN	29400.06	2.82
VSA_JUR	21277.44	0.67

ANEXO III

REDE FUNDAMENTAL AJUSTADA PELO PROGRAMA TRIMNET

VÉRTICES DE REFERÊNCIAS: UFPE - TBB - AGB - SJE - BAR - ARR - PTU

VÉRT.	Latitude (° ' " S)	σ (cm)	Longitde (° ' " W)	σ (cm)	Altura Elip. (m)	σ (cm)
ACV	8 25 10.36	2.98	37 02 14.28	7.81	671.20	7.82
AFI	7 45 43.79	2.82	37 38 05.72	9.02	531.88	6.97
AGB	9 07 11.43	0.00	37 06 38.78	0.00	382.46	0.00
ARR	7 35 09.49	0.00	40 30 03.51	0.00	623.34	0.00
ANG	8 53 29.75	2.22	36 17 41.94	8.45	677.62	3.82
BBB	9 05 36.34	1.96	40 18 09.44	2.76	358.33	4.26
BLF	8 44 45.63	5.15	38 57 31.61	17.53	314.64	10.81
BNM	7 59 51.04	3.77	38 37 34.01	12.07	438.11	8.32
BRA	8 33 38.96	7.50	39 34 25.11	21.46	335.47	12.73
BUQ	8 37 11.97	4.97	37 09 18.55	10.78	801.77	9.38
BAR	8 48 24.83	0.00	35 11 26.62	0.00	13.07	0.00
BJD	7 47 59.60	2.52	35 34 58.56	5.23	297.41	5.84
BLJ	8 19 47.41	2.65	36 25 27.46	7.98	612.62	6.47
BRG	9 01 23.08	2.34	36 33 58.49	8.63	796.13	7.53
BTF	7 50 15.61	0.88	35 01 42.69	0.89	96.743	2.25
BZR	8 14 37.33	3.49	35 45 05.20	6.54	498.59	7.46
CACI	7 23 43.28	1.65	37 11 32.05	8.88	752.60	4.18
CBB	8 30 45.79	4.36	39 18 00.07	14.86	315.74	8.62
CBD	8 38 15.64	8.00	39 40 26.91	38.50	331.03	15.52
CTA	8 05 08.25	2.63	37 39 12.35	7.01	545.66	6.19
CUPI	7 41 39.66	2.19	40 05 17.23	6.73	507.12	5.13
CDD	7 35 13.71	1.49	35 05 22.54	3.17	122.56	2.69
COS	9 07 36.16	2.10	36 20 18.77	8.40	394.47	3.95
CPN	7 51 38.58	2.85	35 15 21.59	7.74	160.72	6.39
CRR	8 18 01.30	3.56	35 58 42.53	6.58	582.22	7.40
CSF	8 21 46.78	3.23	35 45 41.30	6.20	678.63	6.74
CTD	8 39 57.69	2.61	35 43 42.13	5.86	176.43	5.07
ECD	8 21 35.40	1.50	35 13 44.25	2.15	88.179	4.00
FARI	8 36 41.68	3.69	37 05 39.91	8.79	859.16	10.03
FLR	7 52 20.59	2.80	37 58 20.59	9.01	472.38	6.52
FRT	8 36 07.82	4.98	38 34 40.49	17.60	312.57	10.69
GARI	8 50 14.33	1.59	40 39 37.70	3.24	441.15	3.59
GAN	8 53 02.14	1.54	36 29 40.03	5.71	911.75	2.56
GON	7 33 55.41	3.12	35 00 16.44	8.08	7.80	6.44
GVT	8 11 51.46	2.16	35 34 39.60	5.08	454.80	4.34
IBM	8 31 33.51	2.12	37 41 26.89	4.26	395.03	4.19
IPO	8 23 29.59	4.91	35 02 44.94	10.24	9.46	2.31
JMA	8 28 04.52	1.58	35 24 01.44	4.30	115.01	3.88
JUR	8 17 36.08	1.79	35 13 25.50	4.46	83.02	4.15
LJD	8 40 08.30	2.44	36 17 54.32	7.80	658.26	4.97

LME	7 53 12.63	2.17	35 26 49.68	5.01	152.62	4.82
MSG1	9 19 35.64	6.19	40 37 43.22	26.35	397.24	12.46
MSG2	9 17 47.78	1.17	40 29 51.50	2.32	384.05	2.51
MSG3	9 10 12.16	1.49	40 33 13.92	2.82	408.27	3.37
NPT	8 58 17.78	10.55	38 13 00.00	17.57	311.11	22.52
NZE	7 44 46.17	1.94	35 14 13.10	3.95	85.71	4.89
ORC	7 52 36.43	2.36	40 04 33.04	6.80	446.94	5.23
PDL	7 54 08.71	0.78	35 11 11.46	0.86	123.13	2.07
PEJB	9 23 45.57	0.79	40 30 06.14	1.68	400.75	1.69
PMR	8 40 25.88	1.96	35 35 32.51	5.76	177.19	4.96
PNM	8 05 34.39	2.64	39 35 07.60	7.06	378.20	5.51
PQR	8 22 19.42	2.94	36 42 47.12	8.14	646.45	6.88
PTD	9 23 53.67	2.04	40 32 10.24	9.38	363.25	5.20
PTU	9 24 03.21	0.00	40 30 21.51	0.00	353.73	0.00
QPA	8 49 07.36	2.66	36 00 36.55	5.86	537.39	4.27
RIF	8 39 48.92	0.76	35 09 26.53	0.82	21.70	1.29
SCC	7 57 53.78	2.92	36 12 25.35	8.10	432.91	7.29
SGA	8 51 04.33	1.75	36 28 36.89	5.82	817.77	2.85
SGR	8 05 02.88	3.11	39 07 39.88	7.66	412.16	6.22
SFC	8 58 44.42	4.59	40 00 23.17	7.13	367.66	8.50
SJE	7 28 01.53	0.00	37 16 32.41	0.00	591.02	0.00
SMV	8 47 56.69	4.65	39 49 54.06	7.17	355.60	8.64
SRN	8 05 12.17	2.60	37 15 41.74	7.20	547.11	7.39
SRT	7 58 36.91	3.02	38 17 08.16	9.08	434.68	6.52
SSC	8 20 47.39	3.23	36 05 18.21	10.37	592.15	6.11
SUB	7 50 13.28	2.47	35 44 45.81	6.14	380.53	5.61
SUP	8 19 59.19	3.08	35 00 32.46	5.53	32.81	8.04
SVDI	7 50 28.11	2.31	35 33 19.87	5.10	477.68	5.35
TAB	7 35 46.33	2.13	37 32 04.66	9.02	559.21	5.43
TBB	7 31 20.26	0.00	35 18 17.62	0.00	122.55	0.00
TCBO	8 19 51.44	3.47	36 13 19.29	12.49	587.13	7.29
TDD	7 45 27.56	2.23	40 15 42.28	6.74	501.20	5.19
TJP	7 38 47.39	3.10	34 52 56.32	6.96	15.67	5.37
TRT	8 00 16.13	3.11	36 03 12.85	9.74	348.61	7.46
UFPE	8 03 10.90	0.00	34 57 16.93	0.00	49.05	0.00
VSA	8 07 15.94	2.66	35 18 34.99	6.62	165.05	5.03

ANEXO IV

REDE FUNDAMENTAL AJUSTADO PELO PROGRAMA GEONAP

VÉRTICE DE REFERÊNCIAS : UFPE- TBB- ABG- SJE- BAR- ARR- PTU

	Latitude (' ' 'S)	σ (cm)	Longitude (' ' 'W)	σ (cm)	Altura Elip. (m)	σ (cm)
ACV	8 25 10.37	1.33	37 2 14.29	1.34	671.21	1.36
AFI	7 45 43.79	1.06	37 38 5.72	1.07	532.25	1.07
AGB	9 7 11.43	2.19	37 6 38.78	2.21	82.51	2.20
ANG	8 53 29.76	16.65	36 17 41.88	23.80	677.47	47.85
ARR	7 35 9.49	0.97	40 30 3.52	0.97	623.48	0.97
BAR	8 48 24.83	1.74	35 11 26.62	1.74	3.12	1.74
BBB	9 5 36.34	0.76	40 18 9.44	0.76	358.73	0.77
BJD	7 47 59.60	3.11	35 34 58.56	3.13	297.25	3.16
BLF	8 44 45.63	11.29	38 57 31.61	15.02	314.98	39.10
BLJ	8 19 47.41	10.44	36 25 27.46	12.50	612.56	37.32
BNM	7 59 51.02	11.45	38 37 33.98	23.64	438.02	47.60
BRG	9 1 23.10	2.56	36 33 58.39	2.56	796.23	2.57
BTF	7 50 15.60	2.99	35 1 42.71	3.01	97.31	3.06
BUQ	8 37 11.97	10.20	37 9 18.56	15.87	801.86	43.47
BZR	8 14 37.33	11.80	35 45 5.19	15.07	498.60	35.38
CACI	7 23 43.28	2.94	37 11 32.06	2.97	752.61	3.06
CBB	8 30 45.79	1.66	39 18 0.07	1.67	316.01	1.68
CDD	7 35 13.71	1.94	35 5 22.55	1.96	122.79	1.97
COS	9 7 36.16	1.69	36 20 18.77	1.69	94.67	1.70
CPN	7 51 38.58	21.88	35 15 21.59	26.52	160.73	82.55
CPS	8 15 50.10	3.60	35 58 26.94	3.61	47.48	3.66
CRR	8 18 1.31	2.20	35 58 42.52	2.21	581.93	2.22
CSF	8 21 46.78	3.32	35 45 41.29	3.32	78.92	3.38
CTA	8 5 8.24	1.28	37 39 12.35	1.28	545.85	1.30
CTD	8 39 57.69	19.66	35 43 42.12	26.39	76.94	52.25
CUPI	7 41 39.66	1.73	40 5 17.22	1.75	507.23	1.75
ECD	8 21 35.40	16.36	35 13 44.24	23.95	87.39	55.61
FARI	8 36 41.69	2.28	37 5 39.92	2.29	859.06	2.32
FRT	8 36 7.82	2.06	38 34 40.48	2.09	12.69	2.15
FLR	7 52 20.59	2.29	37 58 20.59	2.35	472.39	2.25
GAN	8 53 2.13	1.75	36 29 40.02	1.77	911.91	1.78
GARI	8 50 14.32	11.25	40 39 37.69	16.92	441.23	31.06
GON	7 33 55.41	3.80	35 0 16.44	3.83	8.04	3.91
GVT	8 11 51.46	2.11	35 34 39.58	2.13	454.97	2.14
JMA	8 28 4.52	2.21	35 24 1.44	2.23	115.25	2.26
IBM	8 31 33.51	0.92	37 41 26.90	0.93	395.31	0.92
IPO	8 23 29.59	2.45	35 2 44.95	2.47	9.40	2.47
JUR	8 17 36.08	2.27	35 13 25.49	2.28	80.76	2.28
LJD	8 40 8.30	2.14	36 17 54.32	2.14	658.23	2.17
LME	7 53 12.63	4.28	35 26 49.68	4.38	52.74	4.45
MSG1	9 19 35.64	1.82	40 37 43.26	1.84	397.58	1.84

MSG3	9 10 12.15	10.89	40 33 13.94	15.54	408.40	29.83
MSG2	9 17 47.78	1.24	40 29 51.51	1.24	384.23	1.24
NPT	8 58 17.78	11.87	38 13 0.00	13.98	311.29	36.08
NZE	7 44 6.17	3.24	35 14 13.10	3.28	85.97	3.36
ORC	7 52 36.43	2.06	40 4 33.04	2.09	447.08	2.10
PDL	7 54 8.71	2.71	35 11 11.46	2.75	123.17	2.79
PNM	8 5 34.38	8.52	39 35 7.60	10.73	378.22	28.45
PMR	8 40 25.88	2.30	35 35 32.51	2.30	77.18	2.31
PQR	8 22 19.43	10.17	36 42 47.12	12.09	646.55	28.85
PTD	9 23 53.67	1.21	40 32 10.26	1.21	363.41	1.21
PTU	9 24 3.21	1.24	40 30 21.52	1.25	353.83	1.25
QPA	8 49 7.36	2.68	36 0 36.54	2.72	537.70	2.76
SJE	7 28 1.53	2.20	37 16 32.41	2.21	591.09	2.21
SRN	8 5 12.17	1.52	37 15 41.75	1.53	547.38	1.55
SRT	7 58 36.91	1.20	38 17 8.15	1.20	434.80	1.21
RIF	8 39 48.92	22.42	35 9 26.52	25.95	21.80	52.60
SCC	7 57 53.78	1.29	36 12 25.35	1.29	433.24	1.30
SFC	8 58 44.42	1.99	40 0 23.16	1.99	368.06	2.06
SGR	8 5 2.87	1.18	39 7 39.87	1.18	412.26	1.19
SMV	8 47 56.68	1.42	39 49 54.06	1.43	355.87	1.45
SSC	8 20 47.39	1.95	36 5 18.20	1.95	592.22	1.96
SUB	7 50 13.27	13.05	35 44 45.81	15.74	380.52	37.55
SVDI	7 50 28.11	2.74	35 33 19.87	2.76	477.46	2.79
TAB	7 35 46.34	12.32	37 32 4.67	14.76	559.57	41.22
TBB	7 31 20.26	2.10	35 18 17.62	2.11	122.55	2.11
TCBO	8 19 51.44	11.51	36 13 19.28	13.26	587.25	31.75
TDD	7 45 27.56	10.23	40 15 42.28	16.42	501.45	30.04
TJP	7 38 47.39	2.95	34 52 56.31	2.97	15.89	3.01
TRT	8 0 16.14	0.44	36 3 12.84	0.44	349.02	0.44
SUP	8 19 59.20	4.00	35 0 32.46	4.08	32.40	4.11
UFPE	8 3 10.905	0.93	34 57 16.93	0.94	49.05	0.94
VSA	8 7 15.94	3.89	35 18 34.99	3.90	165.05	3.96

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ANDRADE, J.B., Navstar - GPS. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. UFPR. Curitiba. 1988.
2. BLITZKOW, D. et al. GPS Network in Brazil. International Association Geodesy. Beijing, China. 1993.
3. BOCK, Y., LEPPARD, N. Global Positioning System: An Overvien. In: International Association of Geodesy Symposia. Nº. 102. Edinburgh, Scotland: Springer-Verlag, August. 1989, 447p.
4. CAMPOS, M. A. et al. A Participação Brasileira no "The First GPS Iers ans Geodynamics Experiment", Curitiba, 1991.
5. CAMPOS, M. A. et al. Limitation of GPS in Equatorial Regions due to the Ionophere, VII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, 1993.
6. COUTINHO, H. Projeto de Informação do Cadastro e Sistemas da Distribuição-PID.(Abrangência, Diagnóstico e Metais), out. 1993. 64p.
7. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos. In: XVII Congresso Brasileiro de Cartografia. Salvador, jul. 1995: p. 1-20.
8. LIMA, H. H. C. DE. Relatório de Estágio. Recife, agosto, 1991. 58p. Ministério da Justiça/DPF.
9. MIKHAIL, E. M. Analysis and Adjustments of Survey Measurements. New York, Reinhold, 1981.
10. PAPO, H. Extended Free Net Adjustament Constraints, In NOAA Tecnical Report NOS119 NG537, Rockville, MD 1986.
11. PEREIRA, H. Rede Nacional GPS. IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, DGC/DEGED, 1992.
12. ROMÃO, V. M. C. Der Beitrag von GPS zur Bereitstellung des Raumbezugs für Geoinformationssysteme in Kartographisch Wening Erschlossenen Gebieten, Hannover, 1995. p. 131. Dissertation (Doktor - Ingenieur)
13. SEEGER, G. El Sistema de Posicionamento Global - GPS, v. II, 1994.
14. SEEGER, G. The Global Positioning System. In: Satellite Geodesy (Foundations, Methodsand Applications). 1993.
15. SEEGER, G. The Global Positioning System ans Its Use in Geodesy and Geodynam

ics. Institute of Seismology State Seismological Bureau, Wuhan China, nov. 1986. 102p.

16. SEEBER, G. Satellite Geodesy. Walter de Gruyter, Berlin, New York, 1993.
17. TRIMBLE NAVIGATION. USA. Trimvec - Plus GPS Survey Software - User's Manual and Technical Reference Guide, set. 1991.
18. TRIMBLE NAVIGATION. USA. Trimnet - Survey Network Software User's Manual. june, 1990.
19. WANNINGER, L. et al. Limitations of GPS in central and South America Due to the Ionosphere. In: Conference "Cartography - Geodesy", Maracaibo, Venezuela, p. 1-13, nov. 1992.
20. WÜBBENA, G. et al. Multistation Positioning Results with TI4100 GPS Receives in Geodetic Control Networks. Institut Für Erdmessung. University of Hannover.
21. WÜBBENA, G. The GPS Adjustment Software Package - GEONAP - Concepts and Models. In: Fifth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, march, 1989, Las Cruces, Nes Mexico. p. 1-10. 1989.